

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA-IG
CAMPUS MONTE CARMELO
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

ESTER OLIVEIRA DE SÁ

**TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA APLICADA À ESPELEOLOGIA NA GRUTA
LAPA NOVA NO MUNICÍPIO DE VAZANTE – MG**

**MONTE CARMELO
DEZEMBRO DE 2023**

ESTER OLIVEIRA DE SÁ

**TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA APLICADA À ESPELEOLOGIA NA GRUTA
LAPA NOVA NO MUNICÍPIO DE VAZANTE – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientadora: Dra. Leticia Cristina Ribeiro.

**MONTE CARMELO
DEZEMBRO DE 2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar sabedoria e ânimo, mesmo quando parecia não ter, para enfrentar da melhor maneira todas as dificuldades encontradas ao longo da minha graduação.

Expresso minha gratidão aos meus pais, que mesmo estando em cidades distantes, sempre me apoiaram e incentivaram a concluir meus estudos.

Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Dra. Leticia Cristina Ribeiro, que aceitou me orientar e em todos os momentos durante o desenvolvimento do meu TCC, me amparou e trouxe soluções para os desafios, mesmo quando tudo parecia inviável. Sua cumplicidade e companheirismo foram fundamentais.

Aos professores que me acompanharam ao longo da longa jornada de formação acadêmica no curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia Campus Monte Carmelo.

Sou muito grata aos técnicos do Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO), Valdinei e Miato, que me auxiliaram em diversas etapas do trabalho, desde a confecção dos marcos até a operação dos equipamentos de topografia, entre outras contribuições pelas quais sou grata.

Expresso minha gratidão ao Professor Pedro Toledo, que intermediou com os responsáveis técnicos do Instituto Estadual de Florestas – IEF, para que o trabalho viesse a ser desenvolvido na Gruta da Lapa Nova, em Vazante-MG.

Por fim, sou grata a todos os meus amigos que estiveram presentes, me apoiando ao longo da minha graduação.

ESTER OLIVEIRA DE SÁ

Topografia subterrânea aplicada à espeleologia na gruta Lapa Nova no Município de Vazante – MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Banca de Avaliação:

Prof.^a Dra. Leticia Cristina Ribeiro – UFU
Orientadora

Prof. Dr. Alisson Souza de Oliveira
Membro

Eng.^a Ms Analis da Silva Soares – UFU
Membro

Monte Carmelo (MG), dezembro de 2023.

RESUMO

A espeleologia é uma ciência que tem por objeto o estudo ou a exploração das cavidades naturais de cavernas e/ou grutas. Seu foco está na representação gráfica de cavidades subterrâneas por meio de medições quantitativas, envolvendo tanto espeleometria (medição) quanto espeleografia (representação gráfica). No presente estudo, o objetivo foi implantar e rastrear as coordenadas de dois marcos geodésicos, realizar a espeleotopografia de Grau X e escanear tridimensionalmente o salão de entrada principal da Gruta da Lapa Nova, localizada em Vazante-MG. Os marcos geodésicos foram estrategicamente instalados próximo à entrada da gruta durante a prospecção e exploração. Para a obtenção das coordenadas, empregou-se o GPS Astech Promark 500, enquanto a Estação Total Robótica (Leica MS50) foi utilizada no levantamento espeleotopográfico. O processamento dos dados contou com o método de Posicionamento por Ponto Preciso, utilizando o portal do IBGE-PPP. Além disso, o método Relativo Estático foi aplicado, utilizando o software *Magnet Tools* para processamento. No processamento dos dados topográficos utilizou-se a software *leica infinty*, que processou automaticamente os dados coletados, gerando a nuvem, onde foi possível realizar os cálculos das medidas obtidas. Os resultados incluíram a determinação das coordenadas dos marcos M0 e M1 na entrada da gruta, espeleometria das cavidades internas e externas e a representação tridimensional do salão de entrada. Este trabalho é de grande relevância, pois servirá como base para estudos futuros na Gruta da Lapa Nova, contribuindo para áreas como geoespeleologia, bioespeleologia, espeleoturismo, arqueologia e paleontologia, consolidando-se como um patrimônio imaterial.

Palavras-chave: cavidades naturais, espeleotopográfica, levantamento topográfico.

ABSTRACT

Speleology is a science whose object is the study or exploration of natural cavities in caves and/or caves. Its focus is on the graphical representation of underground cavities through quantitative measurements, involving both speleometry (measurement) and speleography (graphical representation). In the present study, the objective was to implement and track the coordinates of two geodetic landmarks, perform Grade X speleotopography and three-dimensionally scan the main entrance hall of Gruta da Lapa Nova, located in Vazante-MG. Geodesic landmarks were strategically installed near the cave entrance during prospecting and exploration. To obtain the coordinates, the Astech Promark 500 GPS was used, while the Robotic Total Station (Leica MS50) was used in the speleotopographic survey. Data processing used the Precise Point Positioning method, using the IBGE-PPP portal. Furthermore, the Relative Static method was applied, using Manet Tools software for processing. Leica infinty software was used to process the topographic data, which automatically processed the collected data, generating the cloud, where it was possible to carry out calculations of the measurements obtained. The results included the determination of the coordinates of the M0 and M1 landmarks at the entrance to the cave, speleometry of the internal and external cavities, and the three-dimensional representation of the entrance hall. This work is of great relevance, as it will serve as a basis for future studies at Gruta da Lapa Nova, contributing to areas such as geospeleology, biospeleology, speleotourism, archeology and paleontology, consolidating itself as an intangible heritage.

Keywords: natural cavities, speleotopography, topographical survey.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BCRA** - *British Cave Research Association*
- CECAV** - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DIAP** - Diretoria de Áreas Protegidas
- ETR** - Estação Total Robótica
- GNSS** - *Global Navigation Satellite System*
- GPS** - Sistema de Posicionamento Global
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCRA** - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- MPMG** - Manual de Padronização de Marcos Geodésicos
- PPP** - Posicionamento por Ponto Preciso
- RBMC** - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
- RTK** - Real Time Kinematic
- SEE** - Sociedade Excursionista e Espeleológica
- SGB** - Sistema Geodésico Brasileiro
- SGR 1980** - Sistema Geodésico de Referência 1980
- SIRGAS** - Sistema de Referência Geocêntrico das Américas SIRGAS
- UIS** - União Internacional de Espeleologia
- UTM** - Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator
- WGS84** - *World Geodetic System 1984*

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa das redes do Sistema Geodésico Brasileiro. Na cor vermelha estão as RRNN, em azul as EG, em preto estações SAT e em laranja as estações RBMC.	12
Figura 2: Grupo Vazante e localização das principais áreas de mineralizações de zinco e chumbo.	18
Figura 3: Exemplo de planta baixa.	19
Figura 4: Exemplo de Perfil ou Corte Longitudinal	20
Figura 5: Exemplos de Cortes transversais ou Seções	20
Figura 6: Medidor Eletrônico de Distância	23
Figura 7: Gruta da Lapa Nova, localizada no município de Vazante – MG.	26
Figura 8: Dimensões da forma para o marco piramidal	26
Figura 9: Técnico do Laboratório de topografia e Geodésia, Valdiny, preparando a mistura e enchendo o molde do marco piramidal.	27
Figura 10: Forma com os padrões utilizados para o marco piramidal com o molde da chapa padrão.	27
Figura 11: Desenforme dos Marcos Construídos.	27
Figura 12: Esquema de Estabelecimento de Marco.	28
Figura 13: Marco Implantado.	28
Figura 14: Instalação e Configuração do rover no marco M1, com o apoio da Profa. Dra. Leticia Cristina Ribeiro.	29
Figura 15: Dia em que foi realizado o rastreamento com o GNSS.	30
Figura 16: Portal do Serviço online para pós-processamento de dados GNSS do IBGE-PPP.	31
Figura 17: Configurações dos parâmetros dos pontos no software <i>Magnet Tools</i>	32
Figura 18: Poligonal Aberta	33
Figura 19: Leica Nova MS50 MultiStation For Surveying,	34
Figura 20: Tripé de Alumínio.	34
Figura 21: Tripé para Bastão	34
Figura 22: Bastão Para Prima	34
Figura 23: Prisma único novo da cor vermelha para a estação total.	34
Figura 24: Trena de Fibra Longa.	34
Figura 25: Comportamento para a Latitude no M0.	37
Figura 26: Comportamento para a Longitude no M0.	37
Figura 27: Comportamento para a Altitude no M0.	37

Figura 28:Comportamento para a Latitude no M1.	38
Figura 29:Comportamento para a Longitude no M1.	38
Figura 30:Comportamento para a Altitude no M1.	39
Figura 31:Processamento do M0 no <i>Magnet Tools</i>	39
Figura 32:Processamento do M1 no <i>Magnet Tools</i>	40
Figura 33:Precisão esperada para um levantamento estático (metros).	40
Figura 34:Seleção de Feições.	42
Figura 35:Vista Frontal.	43
Figura 36:Vista da representação 3D do teto da Gruta.	44
Figura 37:Scanner.	45
Figura 38:Foto tirada.	45
Figura 39:Scanner do lado de fora da entrada da Gruta.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Precisão do posicionamento relativo em função do comprimento da linha de base, tempo de observação e equipamento utilizado.	15
Tabela 2: Disponibilidade dos Produtos NRCan.	17
Tabela 3: Classificações BCRA para um levantamento de linha de caverna segundo Assunção & Bragante-Filho (2023).	21
Tabela 4: Graus BCRA de detalhamento de passagens em cavernas segundo Assunção & Bragante-Filho (2023).	22
Tabela 5: Coordenadas processadas no IBGE-PPP.	36
Tabela 6: Desvio padrão (sigma) para as coordenadas processadas no IBGE-PPP.	36
Tabela 7: Coordenadas processadas no <i>Magnet Tools</i>	40
Tabela 8: Medidas do Salão Principal de Entrada.	41
Tabela 9: Medidas da Entrada da Gruta.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1.	Objetivo Geral	11
1.2.	Justificativa	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1.	Marco Geodésico	11
2.2.	Posicionamento GNSS.....	13
2.3.	Posicionamento Relativo	14
2.3.1.	<i>Posicionamento relativo estático</i>	15
2.3.2.	<i>Posicionamento relativo estático-rápido</i>	15
2.3.3.	<i>Posicionamento relativo semicinemático e cinemático</i>	16
2.4.	Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP).....	16
2.5.	Contexto Geológico Regional.....	17
2.6.	Definições sobre Topografia na Espeleologia	18
2.6.	Métodos, Graus de Precisão e Instrumentos.....	20
2.7.	Sistemas de Varredura em 3D	23
2.7.1.	Tecnologias de varredura em 3D.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1.	Descrição e Localização de Área de Estudo	25
3.2.	Construção dos Marcos.....	26
3.3.	Implantação dos marcos	28
3.4.	Determinação das Coordenadas Geodésicas com GNSS	29
3.4.1.	Processamento dos Dados GNSS	30
3.5.	Levantamento Topográfico e Escaneamento Tridimensional	33
4	RESULTADOS.....	36
4.1.	Coordenadas Geodésicas com GNSS	36
4.2.	Espeleotopografia e Representação em 3D	41
4.2.1.	<i>Resultados Espeleológicos</i>	41
4.2.2.	Resultados da Representação Tridimensional	43
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

As cavernas são aberturas naturais no terreno que se estendem além do alcance da luz natural, sendo o resultado de diversos processos geológicos que atuam em determinados tipos de rocha (DAVIES & MORGAN, 1991). Essas formações geológicas possuem uma ampla variedade de tamanhos, formas e estruturas, sendo resultado de processos distintos.

De acordo com Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro, elaborado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), em 2022, Minas Gerais foi o estado brasileiro com o maior número de cavernas conhecidas, totalizando 10.570 unidades. Esses números consolidam a liderança de Minas Gerais na espeleologia nacional, demonstrando a importância do estado para a conservação e pesquisa do patrimônio subterrâneo brasileiro (CECAV, 2022).

A espeleologia é uma ciência que estuda as cavernas e outras cavidades subterrâneas. Envolvendo várias áreas do conhecimento como geologia, geografia, hidrologia, biologia, climatologia, topografia, entre outras (CPRM, 2014). Neste sentido os espeleólogos exploram essas cavidades subterrâneas, a fim de coletar informações e mapeá-las, contribuindo para o entendimento da evolução e formação das cavernas, além de contribuir para a preservação desses ambientes.

O objetivo da topografia espeleológica é a representação gráfica de cavidades subterrâneas, através de medições de parâmetros quantitativos como profundidade, distância e volume dos espaços (MARTINEZ, 1992). O mapeamento de uma gruta ocorre em duas fases: Obtenção dos dados espeleométricos (medidas de extensão e desnível) e escritório, onde são realizada a vetorização em softwares e a digitalização dos esboços. Logo, uma carta espeleológica resultante permite compreender a forma, as proporções, as direções e o relevo o interno de uma caverna (RUBIOLLI, 2013).

Todavia, uma referência topográfica é de extrema importância na espeleologia, pois fornece informações precisas sobre a configuração topográfica, elevação e características geológicas da área de estudo. Uma referência precisa permite que os espeleólogos planejem rotas e identifiquem possíveis obstáculos ou áreas de risco, como trechos íngremes, cachoeiras ou desmoronamentos. Logo, a implantação de marcos geodésico fornecem pontos de referência fixos e estáveis na superfície terrestre, proporcionando um posicionamento preciso e referências espaciais para diversos fins relacionados à cartografia, levantamentos topográficos e geodésicos.

1.1.Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo implantar e rastrear as coordenadas de dois marcos geodésico na entrada da Gruta, realizar o levantamento espeleotopográfico de Grau X (levantamento topográfico utilizando teodolito ou Estação Total, em vez de bússola), sendo o mais preciso de acordo com as regras de classificação da Associação Britânica de Pesquisa em Cavernas e o escaneamento tridimensional do salão principal de entrada da Gruta Lapa Nova, localizada no município de Vazante, no estado de Minas Gerais.

1.2.Justificativa

As dificuldades em retratar fielmente as grutas são um problema descrito por Kambesis (2007), envolvendo complexidades geométricas, disponibilidade limitada e ausência de luz nesses locais. Dessa forma, a representação em terceira dimensão (3D) de grutas e cavidades subterrâneas desempenha um papel fundamental na preservação e conservação dessas formações. Ao criar modelos digitais, é possível registrar e documentar as características únicas das grutas, incluindo estalactites, estalagmites, pinturas rupestres e outras formações geológicas.

Outro benefício da representação em 3D de grutas é a possibilidade de proporcionar às pessoas com dificuldades de locomoção a experiência de conhecer e explorar esses ambientes, permitindo que aprendam sobre as formações geológicas sem a necessidade de estarem fisicamente presentes. Essa abordagem permite que uma parte da sociedade que enfrenta restrições de mobilidade tenha acesso a uma experiência imersiva e educativa, proporcionando uma oportunidade de conhecer a beleza e a complexidade das grutas de forma virtual.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção estão descritos conceitos que abordam as temáticas utilizadas na pesquisa e que corroboram com a compreensão da abordagem aplicada.

2.1.Marco Geodésico

De acordo com Marini (2002), o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é composto por uma série de pontos geodésicos distribuídos pelo território brasileiro (Figura 1), aos quais as informações espaciais do país estão referenciadas. O Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE) é responsável pela definição, implantação e manutenção do SGB, que é composto por:

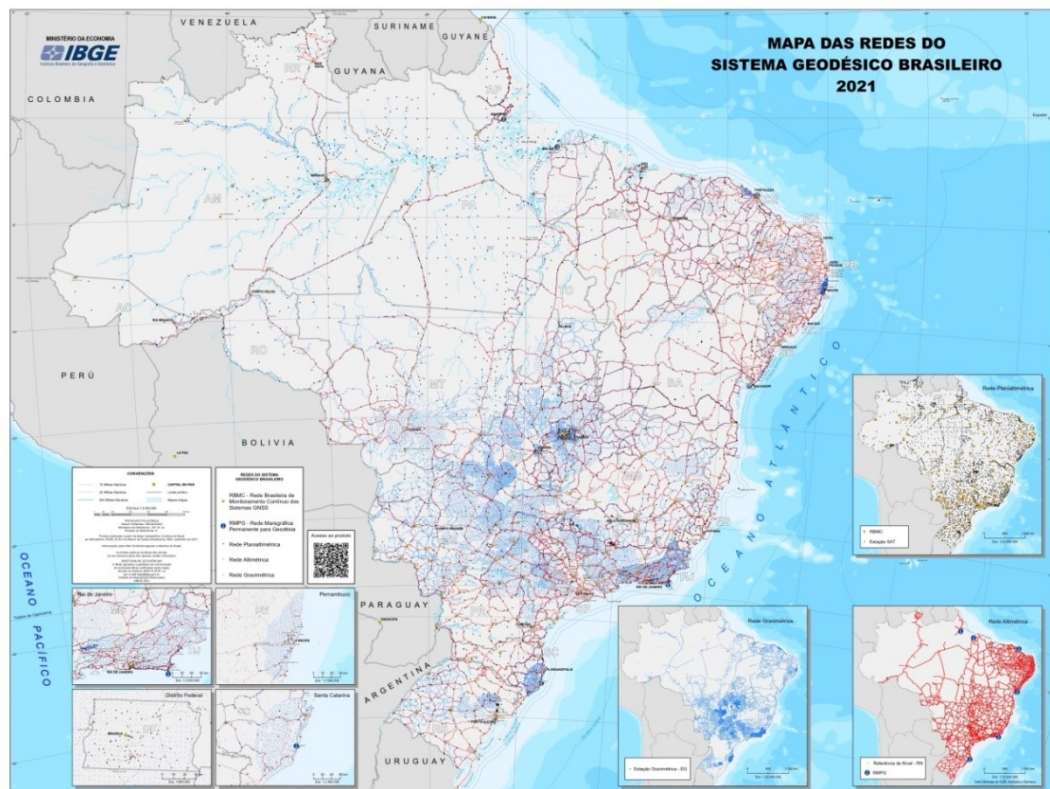
Rede altimétrica - Conjunto de estações geodésicas, denominadas referências de nível, que materializam a componente altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão (IBGE, 2023.a).

Rede planimétrica - Conjunto de estações geodésicas denominadas estações SAT, estações doppler, estações poligonais e vértices de triangulação, que materializam as componentes planimétricas e planialtimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB (IBGE, 2023).

Rede gravimétrica - Conjunto de estações geodésicas, denominadas estações gravimétricas, que contém informações sobre a aceleração da gravidade e as características das estações (IBGE, 2023.b).

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) - Integrada ao Sistema de Referência Geocêntrico das Américas (SIRGAS), e composta por estações de coleta de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A RBMC tem como objetivo principal fornecer informações precisas sobre a posição geográfica de pontos espalhados por todo o território brasileiro (CARVALHO, 2003).

Figura 1: Mapa das redes do Sistema Geodésico Brasileiro. Na cor vermelha estão as RRNN, em azul as EG, em preto estações SAT e em laranja as estações RBMC.



Fonte: IBGE (2021.c).

Neste contexto, os marcos geodésicos de apoio local são pontos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas a partir dessas redes geodésicas de primeira ordem, sendo essenciais para mapeamentos e trabalhos ligados a engenharia como: georreferenciamento de obras, empreendimentos e atualização cartográfica (SOUZA; SILVEIRA, 2013).

Para Rodrigues (2006) há muitas formas para a descrição de um ponto na superfície terrestre, conforme determinada aplicação ou situação. O unidimensional se aplica quando se tem o objetivo de descrever a altitude de um ponto, enquanto o bidimensional descreve posições planimétricas, utilizado para representações cartográficas. O espaço tridimensional, representado por coordenadas cartesianas (X, Y, Z), é mais adequado para cálculos precisos, e o espaço tetradimensional (X, Y, Z, t) é necessário para considerar a mudança de posição de um ponto no tempo.

Uma rede de referência apresenta diversas vantagens quando conservada e implantada de forma distribuída. Além de garantir uma base cartográfica e cadastral atualizada, ela também auxilia nos mapeamentos e proporciona um bom custo-benefício para os levantamentos topográficos (FERREIRA, 2018). Segundo Collischonn (2013), os marcos geodésicos são utilizados na amarração das poligonais topográficas, contribuindo para maior precisão e consistência dos dados.

2.2. Posicionamento GNSS

De acordo com o INCRA (2013), a terminologia GNSS abrange sistemas de posicionamento global por satélite e infraestruturas espaciais, quando integrados na navegação global obtém-se maior precisão. O GNSS engloba o Sistema de Navegação Norte-Americano com Tempo e Alcance (NAVSTAR-GPS), o Sistema Navigational Satellite System (GLONASS) que transmite sinais em duas bandas codificadas em frequências, formadas por dois códigos binários e mensagens de navegação (MONICO, 2008). o Sistema Europeu de Navegação por Satélite (GALILEU) e o Sistema de Navegação por Satélite Compass da China (CNSS Chinês - Compass/Beidou).

Monico (2008) explica que o Sistema Global de Navegação por Satélite transmite dois tipos de observáveis para determinar a posição, velocidade e tempo de um objeto: A pseudodistância a partir do código e a diferença de fase da onda portadora.

Para medir a observável pseudodistância, é necessário correlacionar o código gerado pelo satélite no momento da transmissão com sua réplica gerada no receptor no instante de

recepção. A pseudodistância resulta da razão entre a velocidade da luz e o tempo de propagação do sinal, obtido pela correlação cruzada. A designação pseudodistância é utilizada devido à falta de sincronização entre os relógios do satélite na geração do sinal e o relógio do receptor no momento da chegada do sinal (FAZAN, 2010).

Já na diferença de fase da onda portadora, a medida mais precisa em comparação com a pseudodistância, ocorre pela diferença entre a fase do sinal gerado no satélite, recebida no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambos no instante de recepção do sinal, resultando em uma medida fracionária. O receptor, então, contabiliza o número de ciclos inteiros que entram na antena, proporcionando uma medida contínua. A ambiguidade indica o número de ciclos inteiros entre o satélite e o receptor no momento em que o receptor realiza a primeira medida (MONICO, 2008).

Monico (2008) ainda afirma que com GNSS podem ser obtidas as observáveis de variação Doppler, Razão Sinal Ruído (SNR) e outras, estando sujeitas a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Porém alguns deles podem ser reduzidos e/ou eliminados com certos procedimentos. Os erros aleatórios são inevitáveis e são considerados inerentes da observação. Já os erros sistemáticos podem ser modelados, reduzidos e alguns eliminados por métodos de observações, e por fim, os erros grosseiros podem ser reduzidos a partir da atenção e o cuidado do usuário.

2.3. Posicionamento Relativo

Com o posicionamento relativo é possível determinar as coordenadas de um ponto desconhecido ou de interesse utilizando outro ponto conhecido como base ou referência. Para isso, são utilizados dois ou mais receptores GNSS que coletam simultaneamente dados da constelação de satélites disponíveis naquela área. Pelo menos um dos receptores deve ocupar um ponto de referência com coordenadas conhecidas, chamado de base (INCRA, 2013).

O posicionamento relativo pelo GNSS pode ser realizado por meio de diferentes procedimentos e metodologias, tais como: posicionamento relativo, relativo estático, relativo estático-rápido, relativo semicinemático e relativo cinemático (INCRA, 2013). Tais posicionamentos serão detalhados nas próximas seções. O método de posicionamento relativo e os demais métodos podem ser encontrados em Monico (2008).

2.3.1. Posicionamento relativo estático

Neste método os dados são coletados utilizando um receptor GNSS instalado no ponto de referência e outro receptor posicionado no ponto de interesse. Ambos os receptores permanecem fixos durante toda a coleta de dados, que pode durar de uma hora a várias horas, dependendo da distância entre eles, chamada de linha de base. Para linhas de base curtas, inferiores a 10 km, o tempo de coleta varia de 30 minutos a 1 hora. Já para linhas de base longas, acima de 100 km, recomenda-se um tempo de coleta de 2 a 6 horas, utilizando receptores de dupla frequência (L1 e L2) (IBGE, 2008.d).

Inicialmente, é essencial que o usuário leve em consideração os parâmetros apresentados na Tabela 1 ao planejar seus levantamentos, a fim de obter a melhor precisão possível.

Tabela 1: Precisão do posicionamento relativo em função do comprimento da linha de base, tempo de observação e equipamento utilizado.

Linha de Base (km)	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 - 05	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1ppm
05 - 10	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1ppm
10 - 20	10 - 30 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1ppm
20 - 50	02 - 03 h	L1/L2	5 mm + 1ppm
50 - 100	Mínimo 3 h	L1/L2	5 mm + 1ppm
➤ 100	Mínimo 4 h	L1/L2	5 mm + 1ppm

Fonte: IBGE, 2008.

2.3.2. Posicionamento relativo estático-rápido

Corresponde a uma técnica semelhante à técnica estática, com a diferença de que o intervalo de coleta de dados varia de 5 a 20 minutos, é adequado para levantamentos de linha de base de até 10 km (INCRA, 2013). Neste contexto, o método envolve um receptor fixo, denominado base, e um receptor móvel (rover) que se desloca até o ponto desejado. Não há necessidade de manter o rastreamento do rover ao se mover de um ponto a outro, portanto o dispositivo pode ser desligado. Os dados coletados da base e do rover formam uma linha de

base e é importante abordar o vetor de ambiguidade para garantir uma precisão aceitável, ou seja, para corrigir os resultados (MONICO, 2008).

2.3.3. Posicionamento relativo semicinemático e cinemático

O método semicinemático, também é conhecido como "*stop and go*", é utilizado para coletar dados pontuais e contínuos simultaneamente, como pontos cadastrais e linhas de divisão. Nesse procedimento, um receptor ocupa o ponto de referência (base) e outros receptores ocupam os demais pontos de interesse. O tempo de permanência para determinar os pontos é de 1 a 2 minutos, com o receptor estático sobre o ponto de interesse. Em seguida, o levantamento continua com o deslocamento até o próximo ponto de interesse, formando uma linha de deslocamento. Essa técnica é indicada para áreas com poucas obstruções (INCRA, 2013).

Já no posicionamento relativo cinemático, o receptor localizado sobre no ponto de referência permanece estático enquanto o receptor no ponto de interesse se move durante todo o levantamento (IBGE, 2008.d).

2.4. Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP)

O posicionamento Por Ponto Preciso é caracterizado quando se utiliza tanto receptores L1, quanto L1/L2 acompanhado das efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites com alta precisão. No IBGE-PPP, serviço online para pós-processamento de dados GNSS é realizar o processamento dos dados com arquivos no formato RINEX ou HATANAKA (IBGE-PPP, 2023).

Conforme o manual do IBGE-PPP (2023), são utilizados arquivos de órbitas e de correções dos relógios dos satélites disponibilizados pelo IGS e NRCan. Logo, as órbitas possuem três categorias: FINAL, RÁPIDA e ULTRA-RÁPIDA. Cada uma dessas órbitas possui uma precisão associada e são disponibilizadas em diferentes momentos. Logo, o IBGE-PPP utilizará a órbita mais precisa disponível no momento do processamento, considerando se o rastreamento das observações foi realizado dentro ou fora do território brasileiro.

Observado a Tabela 2, quando o processamento é de rastreios realizados dentro do território brasileiro se utiliza as órbitas e correções dos relógios dos satélites disponibilizadas pelo NRCan.

Tabela 2: Disponibilidade dos Produtos NRCan

Produto NRCan				
Órbitas / Intervalo	Relógios / Intervalo	Constelação	Quando o IBGE-PPP irá utilizar?	Precisão da órbita
Ultra-Rápida (EMU) 15 minutos	EMU 30 segundos	GPS (1h) e GPS+ GLONASS (3h)	A partir de 1h30m-2h30m após o fim do rastreamento até a disponibilidade das órbitas EMR	± 15 cm
Rápida (EMR) 15 minutos	EMR 30 segundos	GPS e GLONASS	A partir de 12-36 horas após o fim do rastreamento até a disponibilidade das órbitas EMF	± 5 cm
Final (EMF) 15 minutos	EMF 30 segundos	GPS e GLONASS	a partir de 11-17 dias após o fim do rastreamento	± 2 cm

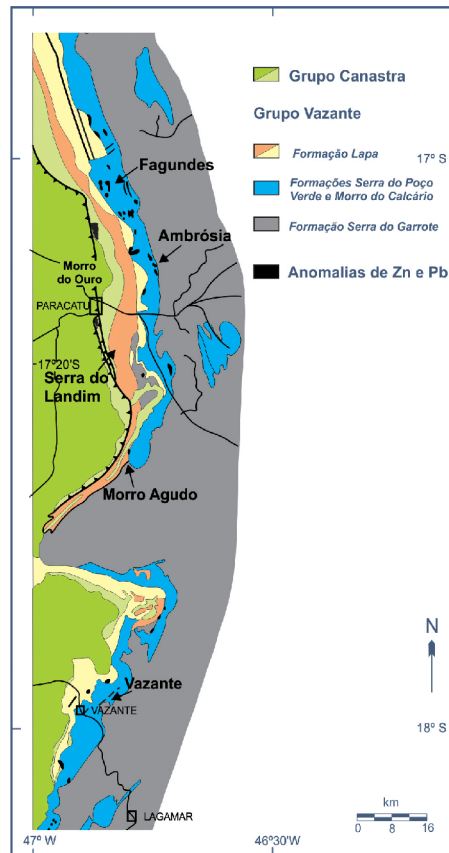
Fonte: IBGE-PPP, 2023.

Segundo Marques (2012), os usuários devem compreender que método denominado de *Real Time PPP* (RTPPP) requer o uso de um receptor com conexão com a internet, sendo de extrema importância, pois possibilita que o receptor receba as correções dos relógios dos satélites. Contudo, o RTPPP determina a utilização de dados de uma rede global GNSS, uma vez que as correções dos relógios dos satélites devem ser estimadas para serem utilizados em tempo real.

2.5.Contexto Geológico Regional

Com uma extensão de 300 km na direção norte-sul e abrangendo as cidades de Coromandel, Lagamar, Vazante, Paracatu e Unaí, o Grupo Vazante (Figura 2) é composto por sequências sedimentares pelítico-carbonáticas pertencentes aos limites do Cráton de São Francisco e da Faixa de Dobramentos Brasília (AZMY et al., 2008). A idade deste grupo ainda não é bem definida, podendo datar do Mesoproterozoico ao início do Neoproterozoico (MARQUES et al., 2015). A seguir a Figura 2 mostra todo o contexto geológico, onde se está localizado o Grupo Vazante.

Figura 2: Grupo Vazante e localização das principais áreas de mineralizações de zinco e chumbo.



Fonte: DIAS (2019).

De acordo com Pinho et al. (2017), a gênese dessa unidade está associada a contextos de sedimentação em ambientes de plataformas marinhas nas quais foram desenvolvidos recifes sobre uma base lamosa. As rochas carbonáticas desta unidade são majoritariamente dolomíticas e encontram-se assentadas sobre diamictitos de origem provavelmente glacio-marinha (MARQUES et al., 2015). Atualmente, entende-se que estes pacotes sedimentares estiveram submetidos a um metamorfismo de baixo grau, variando de um anquimetamorfismo à fácies sub-xisto verde, sendo, desta forma, possível identificar as estruturas pretéritas das rochas iniciais, denominadas de protólitos.

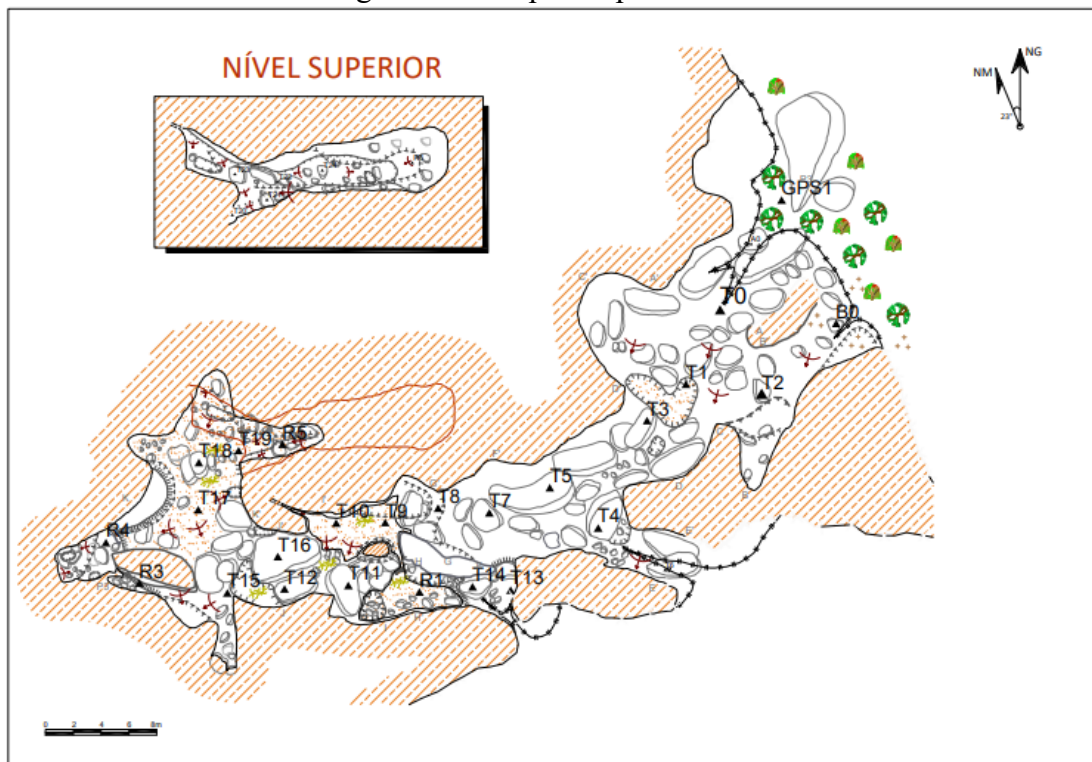
2.6. Definições sobre Topografia na Espeleologia

A topografia espeleológica envolve dois conceitos fundamentais: Espeleometria e Espeleografia. A primeira reúne todas as técnicas de medição quantitativa para construir o esqueleto do desenho, como radiação e triangulação. A segunda é a representação gráfica da cavidade devido ao seu caráter subjetivo, podendo variar dependendo da condição do indivíduo e do aspecto observado (MARTINEZ, 1992).

De acordo com Rubioli (2013), a parte prática da topografia espeleológica requer a compreensão de alguns termos técnicos. As estações topográficas são pontos de observação como referências para a composição da linha poligonal. Dependendo da metodologia escolhida para o levantamento, esses pontos podem ser fixados em elementos da própria cavidade (blocos, paredes, teto) ou flutuantes (sem marcação física).

O desenho de uma caverna no mapa é a representação esquemática em escala reduzida de sua planta baixa, perfil longitudinal e dos cortes transversais (MARTINEZ, 1992). A planta baixa é a projeção ortogonal em um plano horizontal onde são representadas as bases topográficas e as demais feições de acordo com o tema do estudo, um exemplo na Figura 3 pode ser visto abaixo.

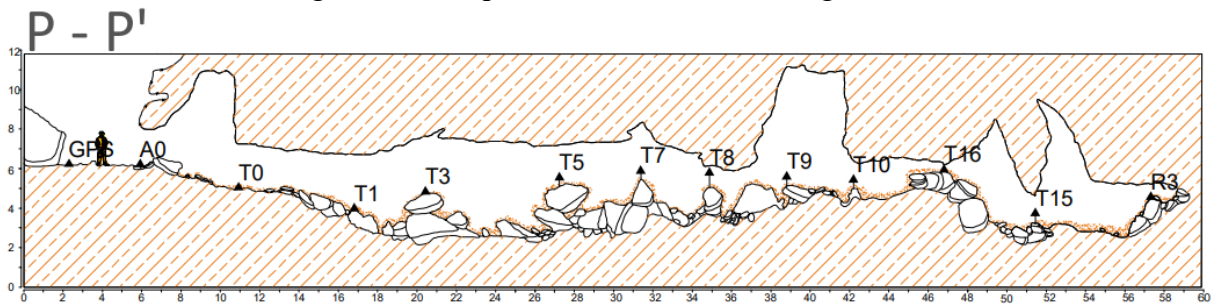
Figura 3: Exemplo de planta baixa.



Fonte: SEE (2022).

Já a seção longitudinal é o plano vertical, onde estão o teto e o piso, através do plano vertical é possível medir o desnível. A Figura 4 representa o perfil longitudinal da planta baixa exemplificada na Figura 3.

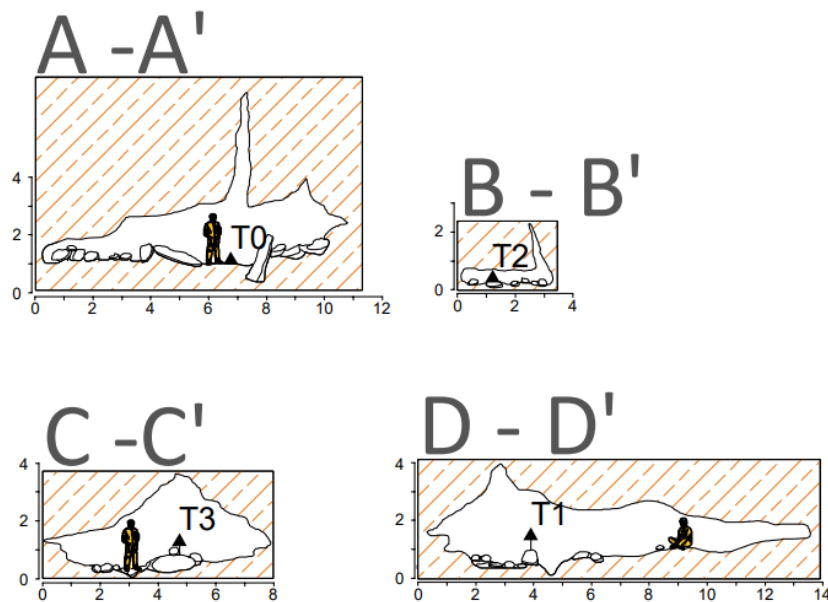
Figura 4: Exemplo de Perfil ou Corte Longitudinal



Fonte: SEE (2022).

Por fim, é realizada a representação das seções frontais cujas quais são seções perpendiculares ao eixo de desenvolvimento da caverna, onde é possível ver o contorno da galeria para entender sua formação (Figura 5).

Figura 5: Exemplos de Cortes transversais ou Seções



Fonte: SEE (2022).

2.6. Métodos, Graus de Precisão e Instrumentos

Os métodos mais conhecidos de levantamentos topográficos em cavidades subterrâneas são: poligonal, irradiação e a triangulação. A poligonal pode ser aberta ou fechada, sendo a fechada realizada quando é possível conectar duas entradas de cavidade pelo lado externo. Na irradiação, ocorrem visadas para as laterais de um salão. Por sua vez, a triangulação permite realizar leituras de distâncias e ângulos entre dois pontos conhecidos em relação a um ponto desconhecido (ASSUNÇÃO; BRAGANTE-FILHO, 2015).

A precisão do levantamento topográfico é de extrema importância, uma vez que permite determinar a confiabilidade do mapa da cavidade em questão, estabelecendo diferentes níveis de detalhamento. Conforme Assunção e Bragante-Filho (2015), existem dois sistemas amplamente reconhecidos: a União Internacional de Espeleologia (UIS) e a *British Cave Research Association* (BCRA). No Brasil, o sistema mais utilizado é o BCRA, que define sete graus de precisão para a linha central da topografia e quatro classes para o detalhamento dos condutos laterais (MOURA, 2011), conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Classificações BCRA para um levantamento de linha de caverna segundo Assunção & Bragante-Filho (2023).

Grau	Descrição
1	Esboço de baixa precisão onde nenhuma medição foi feita
2	Pode ser usado, se necessário, para descrever um esboço com precisão intermediária entre Grau 1 e 3 (usar apenas se necessário, ver nota 7).
3	Um levantamento magnético grosseiro. Ângulos horizontais e verticais medidos até $\pm 2,5^\circ$; distâncias medidas a ± 50 cm; erro de posição da estação inferior a 50 cm.
4	Pode ser usado, se necessário, para descrever uma pesquisa que não atende a todos os requisitos do Grau 5, mas é mais precisa do que uma pesquisa do Grau 3 (usar apenas se necessário, ver nota 7).
5	Um levantamento magnético. Ângulos horizontais e verticais medidos a $\pm 1^\circ$; as distâncias devem ser observadas e registradas ao centímetro mais próximo e as posições das estações identificadas a menos de 10cm.
6	Um levantamento magnético que é mais preciso do que o grau 5 (consulte a nota 5).
X	Um levantamento que se baseia principalmente no uso de um teodolito ou estação total em vez de uma bússola (ver notas 6 e 9 abaixo).

Notas:

1. A tabela acima é um resumo e destina-se apenas a auxiliar a memória; as definições das notas de pesquisa dadas acima devem ser lidas em conjunto com estas notas.
2. Em todos os casos é necessário seguir o espírito da definição e não apenas a letra.
3. Para atingir o Grau 3 é necessário usar um clinômetro em passagens com inclinação apreciável.
4. Para atingir o Grau 5 é essencial que os instrumentos sejam devidamente calibrados, e todas as medições devem ser feitas de um ponto dentro de uma esfera de 10 cm de diâmetro centrada na estação de pesquisa.
5. Um levantamento de Grau 6 requer que a bússola seja usada no limite de precisão possível, ou seja, precisão de $\pm 0,5^\circ$; as leituras do clinômetro devem ter a mesma

- precisão. O erro de posição da estação deve ser inferior a $\pm 2,5$ cm, o que exigirá o uso de tripés em todas as estações ou outros marcadores fixos de estação ('ganchos').
6. Um levantamento de Grau X deve incluir nas notas do desenho descrições dos instrumentos e técnicas usadas, juntamente com uma estimativa da provável precisão do levantamento em comparação com levantamentos de Grau 3, 5 ou 6.
 7. Os Graus 2 e 4 são para uso somente quando, em algum estágio do levantamento, as condições físicas impediram o levantamento de atingir todos os requisitos para o próximo grau superior e não é prático fazer um novo levantamento.
 8. O Grau X é apenas potencialmente mais preciso do que o Grau 6. Nunca se deve esquecer que o teodolito/Estação Total é um instrumento de precisão complexo que requer treinamento considerável e prática regular para que erros graves não sejam cometidos durante seu uso!
 9. Na elaboração, as coordenadas do levantamento devem ser calculadas e não desenhadas à mão com régua de escala e transferidor para obter o Grau 5.

Esses sistemas são fundamentais para garantir a precisão e a padronização dos levantamentos topográficos realizados em cavernas e proporcionam diretrizes claras para a elaboração de mapas confiáveis. A Tabela 4 mostra as classes dos graus de detalhes registrados nas cavernas.

Tabela 4: Graus BCRA de detalhamento de passagens em cavernas segundo Assunção & Bragante-Filho (2023).

Classe	Descrição
A	Todos os detalhes da passagem com base na memória.
B	Detalhes da passagem estimados e registrados na caverna.
C	Medições de detalhe feitas apenas em estações de pesquisa.
D	Medições de detalhes feitas em estações de pesquisa e onde quer que sejam necessárias para mostrar mudanças significativas nas dimensões da passagem.

Notas:

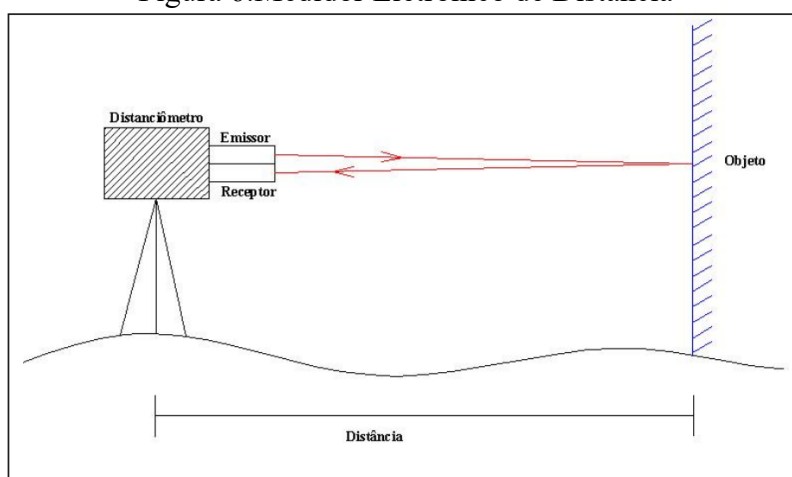
1. A precisão do detalhe deve ser semelhante à precisão da linha.
2. Normalmente, apenas uma das seguintes combinações de graus de pesquisa deve ser usada: 1A, 3B ou 3C, 5C ou 5D, 6D, XA, XB, XC ou XD.

Souza (2019) afirma que a escolha do instrumento utilizado varia de acordo com o método, grau de precisão e acessibilidade da caverna em questão. Nesse sentido, os espeleólogos utilizam uma série de instrumentos específicos. A bússola geológica é empregada para a leitura dos ângulos horizontais e verticais, enquanto a trena laser se mostra útil e precisa para realizar as medidas do contorno e das alturas da caverna. O tripé é utilizado para dar suporte à bússola durante as medições. Além disso, as planilhas de anotação de dados e a prancheta/caderno com papel milimetrado são essenciais para a elaboração dos croquis. Por fim, não se pode negligenciar a importância dos equipamentos de segurança, como capacetes, lanternas, sapatos fechados e perneiras, que garantem a proteção dos espeleólogos durante as expedições.

2.7.Sistemas de Varredura em 3D

O laser, por definição, é um dispositivo que amplifica a luz através da estimulação por radiação e é comumente utilizado como fonte geradora dessa radiação (GONÇALVES, 2007). Campos et al (2019) afirmam que com o avanço da tecnologia em diferentes áreas da engenharia, ocorreram inovações no processo de coleta de dados, especialmente com o uso de scanners a laser 3D, que oferece mais precisão na aquisição dos dados. Através dos feixes de luz que saem do campo óptico, no qual é focado em diferentes pontos a serem mapeados, distâncias são obtidas medindo o tempo que a luz leva para retornar ao aparelho, como representado na Figura 6. É um processo totalmente automatizado, já que o dispositivo utiliza softwares para auxiliar no processamento dos dados, ao contrário de outros que são calculados por meio de planilhas, frequentemente preenchidas manualmente.

Figura 6: Medidor Eletrônico de Distância



Fonte: Gonçalves (2007).

Segundo Gonçalves (2007) os sistemas de varredura em 3D são utilizados para construir modelos tridimensionais, permitindo a visualização e análise de estruturas complexas de forma rápida, precisa e segura. Com o escaneamento do objeto, é possível obter uma nuvem de pontos que pode ser manipulada por um software especializado. A partir desses pontos, é possível modelar o objeto e exportá-lo para um sistema CAD, facilitando ainda mais o processo de design e engenharia.

Há dois sistemas de varredura os passivos que tem um enfoque na extração de informações geométricas de uma superfície por meio de fotografias estereoscópicas, proporcionando um mapeamento rápido e de baixo custo, porém com altas resoluções, e o scanner 3D LIDAR que é um tipo de sensor ativo que realiza mapeamento 3D com precisão (OLIVEIRA & FREITAS, 2022).

2.7.1. Tecnologias de varredura em 3D

Gonçalves (2007) afirma que existem diversos equipamentos e marcas de fabricantes renomados no mercado de topografia. Tais como Trimble, Leica Geosystems, Topcon Positioning Systems. Dentre busca realizada de empresas brasileiras aparecem Geotronics e Santiago & Cintra. Essas empresas oferecem uma ampla gama de soluções tecnológicas para atender às necessidades dos profissionais da área.

No que diz respeito aos equipamentos com tecnologia de varredura em 3D, destacam-se os veículos aéreos não tripulados (VANTS), equipamentos aerotransportados com sistema LiDAR, lasers scanners e estações totais robóticas. Dentre os equipamentos citados para na Espeleotopografia de grutas o que se adequa melhor nos levantamento é a Estação Total Robótica (ETR).

Segundo as descrições da ETR MS50, equipamento disponível para levantamento topográfico e escaneamento em terceira dimensão no laboratório LTGEO da universidade Federal de Uberlândia, campus Araras. O equipamento captura pontos 3D que integram a nuvem, permitindo que o usuário colete e visualize os dados topográficos juntos com escaneamentos detalhados com alta precisão. Além disso, possui câmera telescópica com 30 (trinta) vezes ampliação e foco automático com processamento de imagem, oferecendo streaming de vídeo fluido ao vivo da imagem com alta qualidade (LEICA GEOSYSTEMS, 2023).

Para obter mais informações detalhadas e especificações sobre os diferentes modelos e tipos de equipamentos, recomenda-se visitar os sites das empresas mencionadas. Onde, é possível encontrar informações atualizadas sobre os produtos disponíveis, suas características técnicas e funcionalidades, auxiliando na escolha do equipamento mais adequado para cada projeto e aplicação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

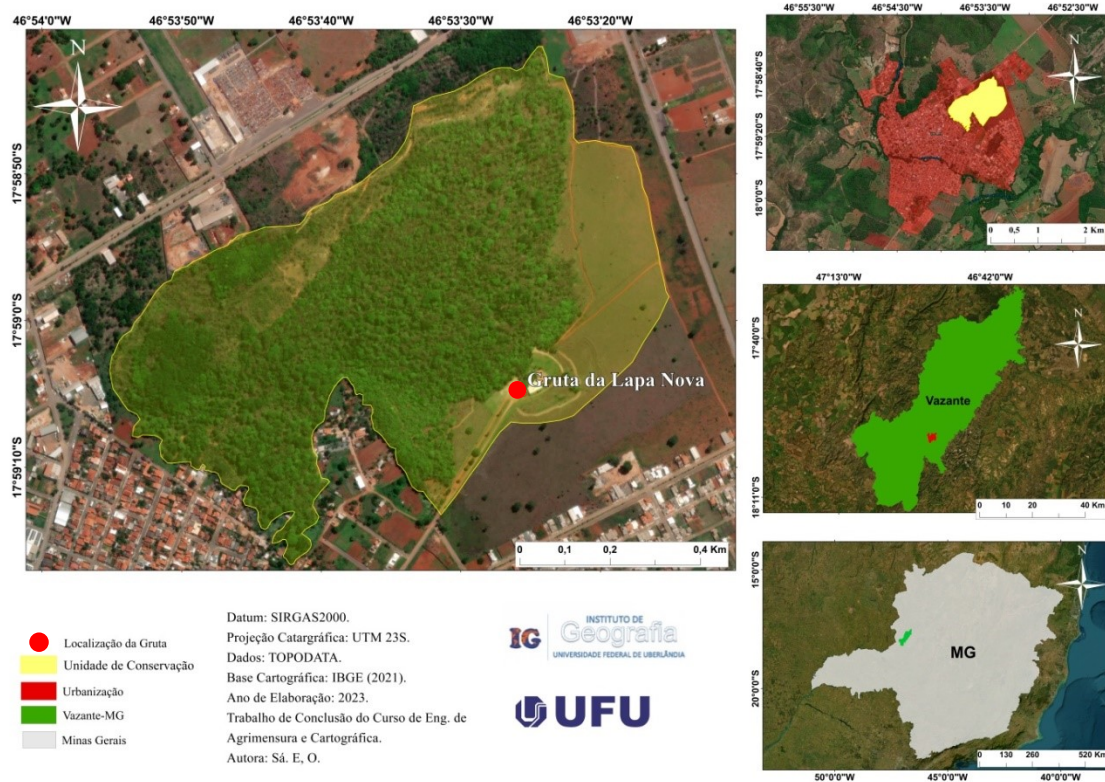
Depois de realizada uma abordagem abrangente sobre topografia subterrânea aplicada à espeleologia, incluindo a determinação de coordenadas geodésicas de marcos de apoio geodésico e a varredura em 3D para modelagem de superfícies, para a obtenção de um panorama e embasamento empírico sólido sobre os temas, nesta sessão será abordada toda metodologia e material utilizados para a elaboração deste trabalho.

3.1. Descrição e Localização de Área de Estudo

A área de Estudo esta situada entre as coordenadas 17°59'13" Sul e 46°54'28" Oeste, o município de Vazante está localizado na região noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Conforme o portal da prefeitura (VAZANTE, 2023), o município é conhecido nacionalmente como a “Capital do Zinco” devido à sua alta produção mineral, a cidade chama a atenção não só por sua atividade econômica, mas também por suas ricas belezas naturais e atrativos turísticos. Entre essas atrações, destaca-se a Gruta Lapa Nova, uma gruta que impressiona por um sistema de formações rochosas subterrâneas, sua localização está destacada na Figura 7.

Neste sentido, a Diretoria de Áreas Protegidas (DIAP, 2014) afirma que, a Gruta Lapa Nova é a maior cavidade natural subterrânea do município de Vazante, possuindo cerca de 4.520 metros de extensão em seus condutos. Além disso, a caverna é dividida em três setores distintos. À esquerda (ou oeste) do primeiro setor (entrada principal), encontra-se um setor menos extenso, porém com alguns salões de grande porte. Vale ressaltar que este setor, embora bastante próximo, não apresenta conexão com o setor à direita, que por sua vez, é o que abrange a maior extensão da gruta.

Figura 7: Gruta da Lapa Nova, localizada no município de Vazante – MG.

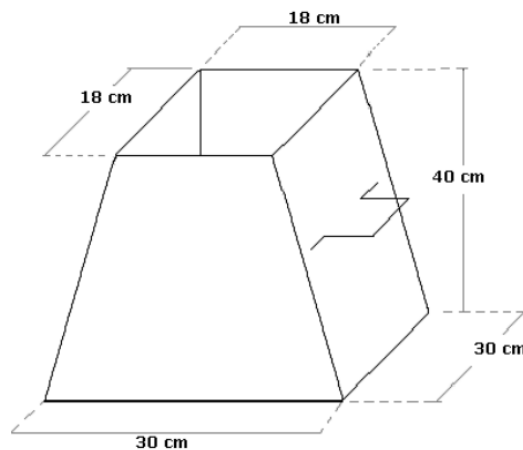


Fonte: Autora (2023).

3.2. Construção dos Marcos

Conforme o Manual de Padronização de Marcos Geodésicos (IBGE.4, 2008), a produção de um marco padrão do tipo piramidal requer a utilização de uma forma com alças laterais que tenham o mesmo formato e dimensões do marco, conforme Figura 8.

Figura 8: Dimensões da forma para o marco piramidal



Fonte: IBGE (2008.f).

A construção dos marcos seguiu as especificações do Manual de Padronização de Marcos Geodésicos do IBGE (2008.d), onde é recomendada uma mistura proporcional de uma parte de cimento, três partes de areia e três partes de pedra (conforme ilustrado na Figura 9). Um molde da chapa padrão foi posicionado no centro da parte superior da estrutura (como mostrado na Figura 10), criando o espaço para encaixar a chapa. Após o preenchimento do molde com a mistura, aguardou-se três dias para que os marcos se solidificassem antes de serem removidos do molde (conforme representado na Figura 11).

Figura 9: Técnico do Laboratório de topografia e Geodésia, Valdiny, preparando a mistura e enchendo o molde do marco piramidal.



Foto: Autora (abril, 2023).

Figura 10: Forma com os padrões utilizados para o marco piramidal com o molde da chapa padrão.



Foto: Autora (abril, 2023).

Figura 11: Desenforme dos Marcos Construídos.

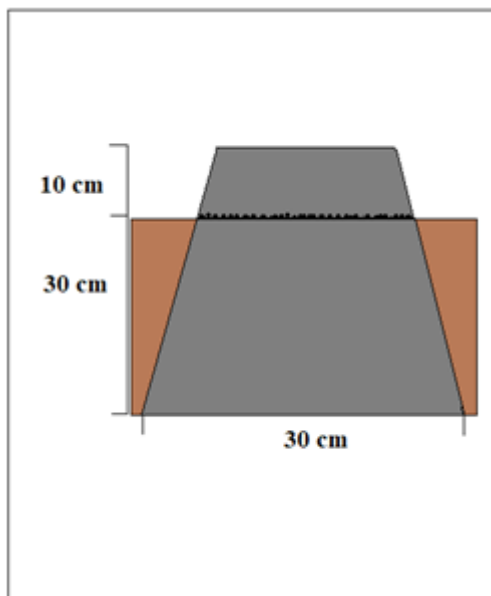


Foto: Autora (maio, 2023)

3.3. Implantação dos marcos

O Manual de Padronização de Marcos Geodésicos (IBGE.4, 2008) especifica os procedimentos para a implantação de marcos geodésicos. No entanto, devido à escassez de recursos para a aquisição de materiais, mão de obra e deslocamento, não foi viável seguir a padronização na implantação dos marcos. Necessitando adaptações, procedendo com os recursos disponíveis. Os marcos M0 e M1 foram instalados próximo à entrada da Gruta Lapa, com uma distância de 8.0578 metros entre si. Apresentando formato piramidal e altura de 40 cm, foram enterrados a 30 cm de profundidade, ficando 10 cm expostos acima do solo. O esquema na Figura 12 ilustra a execução, e na Figura 13, é possível visualizar o marco M0 implantado.

Figura 12: Esquema de Estabelecimento de Marco



Elaboração: Autora (2023).

Figura 13: Marco Implantado.



Foto: Autora (outubro, 2023).

3.4. Determinação das Coordenadas Geodésicas com GNSS

Estabelecido à implantação dos marcos, iniciou-se o rastreamento com um par de receptores GNSS *Astech Promark 500 RTK* que possui a capacidade de multi-constelações (GPS + GLONASS + SBAS). A base foi instalada no marco M1 e o rover no M0. A metodologia adotada foi a do posicionamento relativo estático, onde o receptor de referência e o receptor no ponto de interesse permaneceram rastreando simultaneamente durante todo o levantamento. O intervalo de coleta de dados foi fixado em 10 segundos, enquanto o tempo de permanência no ponto foi de 2h20mn, na Figura 14 está registrado o momento em que as configurações para o início do rastreamento foram realizadas. Conforme mencionado por Almeida et al. (2016), essa metodologia utiliza uma combinação linear livre de ionosfera, independente do comprimento e da quantidade de linhas de base envolvidas. Portanto, é considerado o método de posicionamento mais preciso utilizando GNSS.

Figura 14: Instalação e Configuração do rover no marco M1, com o apoio da Profa. Dra. Leticia Cristina Ribeiro.



Foto: Autora (outubro, 2023).

3.4.1. Processamento dos Dados GNSS

Após o descarregamento, foi consultado no site do Calendário e Utilitário GNSS para determinar a data do levantamento, conforme ilustrado na Figura 15, que correspondeu o dia 304 do ano de 2023. Essa informação é crucial, uma vez que no *RINEX Convert*, software utilizado para a conversão do arquivo para o formato RINEX, usa a informação em suas configurações nos parâmetros para a transformação. Nesse processo de conversão o *RINEX Convert* realiza a extração e organização das informações, como observações de satélites, coordenadas e outras características, em um formato universal que pode ser introduzido por diversos softwares de pós-processamento de dados GNSS.

Figura 15: Dia em que foi realizado o rastreamento com o GNSS.

CALENDÁRIO E UTILITÁRIO GNSS			
Terça-feira, 31 de outubro de 2023 (UTC)			
Número do Dia Juliano:	2460248,5	Dia do ano:	304
Semana GPS:	2286	Número da semana GPS:	22862
Órbitas Finais GPS (IGS): igs22862.sp3.Z			
Órbitas Finais GIONASS (CDDIS): igl22862.sp3.Z			
Órbitas de transmissão GPS BRDC (BRDC): brdc3040.23n.Z			
Arquivo de relógio IGSCB 30 s (IGS): igs22862.clk_30s.Z			
Arquivo AIUB ION: COD22862.ION.Z			
Arquivo AIUB SNX: COD22862.SNX.Z			
Arquivo SNX para a semana: COD22867.SNX.Z			

Fonte: Calendário e Utilitário GNSS, 2023.

Entretanto, o primeiro processamento foi conduzido por meio do método de Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP), utilizando o serviço online para pós-processamento de dados GNSS do IBGE-PPP, uma ferramenta disponível gratuitamente para os usuários, a Figura 16 mostra as configurações para o processamento no portal, que é simples, basta o usuário escolher o arquivo, adicionar um e-mail válido e apertar em processar. O IBGE-PPP processa dados GNSS (GPS e GLONASS) que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático. Logo após, os resultados do processamento são disponibilizados através de um link apresentado na tela de resposta. Neste endereço encontra-se um arquivo compactado no formato ZIP onde o usuário consegue fazer o download do mesmo.

Figura 16: Portal do Serviço online para pós-processamento de dados GNSS do IBGE-PPP.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Buscar

O que é

Saiba mais

Processar os dados

Notícias e Releases

Outras informações

Código

Seleção o Modo de Processamento: Estático Cinemático

Seleção um arquivo RINEX: Só serão aceitos arquivos no formato: 05o a 23o, 05D a 23D, 05D a 23D, obs, OBS, zip, ZIP, tar, TAR, tgz, TGZ, gz, GZ, mx, RNX, crx, CRX, 7z, 7Z

Escolher arquivo Nenhum arquivo escolhido

Os valores selecionados abaixo serão adotados para todos os RINEX que estejam comprimidos em um único arquivo:

Tipo de Antena: Não alterar RINEX

Altura da antena (m): 0.000

A altura da antena somente será alterada se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido do usuário. (não pode conter espaços ou tabs!):

E-mail

Concordo que os resultados dos processamentos poderão ser utilizados pelo IBGE para a avaliação de produtos e informações cartográficas e geodésicas, bem como para a avaliação do próprio serviço IBGE-PPP.

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos. Caso o resultado não comece a aparecer em 2 horas, por favor reprocesse.

Processar Limpar Dados

Fonte: IBGE-PPP (2023)

Foram realizados dois testes, um no dia seguinte ao levantamento (01 de novembro de 2023) e outro após quarenta e oito horas (03 de novembro de 2023), a fim de verificar se haveria alguma melhora na precisão. No primeiro teste, os dados foram processados nas órbitas Ultra-Rápidas, que composta por orbitas observadas e preditas, mostrando-se menos precisas em comparação com o segundo teste, processado nas frequências L1 e L2.

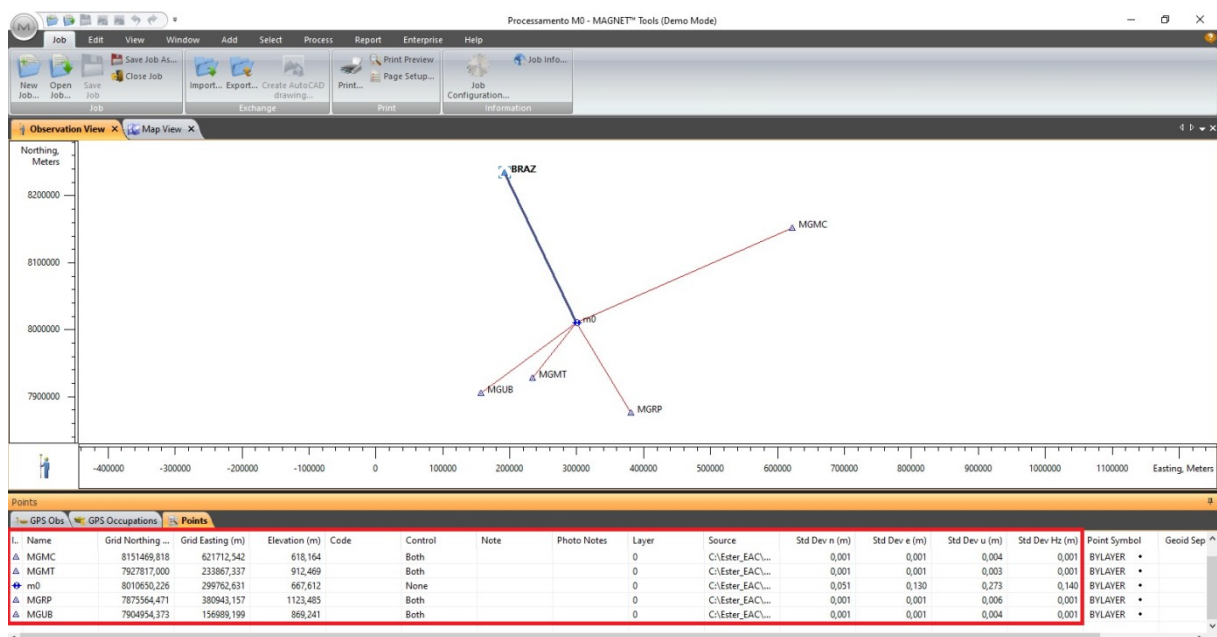
Também foi realizado um terceiro processamento, neste foi adotado o método estático, o qual calcula posições precisas com base nas observações dos satélites. Esse método considera diversos fatores, como órbitas dos satélites, correções ionosféricas e troposféricas, para determinar com precisão as coordenadas de pontos de interesse. O software *Magnet Tools*, desenvolvido pela Topcon, foi utilizado nesse processo, sendo uma ferramenta dedicada ao processamento e análise de dados de levantamentos, incluindo informações provenientes de receptores GNSS de dupla frequência com tecnologia RTK (*Real-Time Kinematic*), proporcionando maior precisão em tempo real.

Para analisar e corrigir os erros sistemáticos e aleatórios nos dados brutos coletados realizou-se o download dos dados provenientes das estações Brasília, Monte Carmelo, Montes Claros, Rio Paranaíba e Uberlândia, todas integrantes da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). No caso do Marco M0, foram utilizadas as cinco estações, pois apresentou uma melhoria na precisão do desvio padrão. No entanto, para o

Marco M1, foi necessário desabilitar a estação Brasília, uma vez que, ao processar os dados com essa estação, verificou-se uma deterioração na precisão do desvio padrão. Os dados baixados das estações correspondem à mesma data do levantamento, sendo essenciais para aprimorar a precisão do erro de posicionamento nas coordenadas determinadas para os marcos M0 e M1.

Posteriormente arquivos de entrada “d”, “g” e “m” foram importados no *Magnet Tools*, como também o arquivo bruto do levantamento com o GNSS. A partir disso algumas configurações dos pontos foram ajustadas como: latitude, longitude, Sigmas (x, y e z), elevação do ponto, tipo de antena, altura da antena, etc. Algumas dessas configurações podem ser observadas na Figura 17. Esse preparo é realizado para o processamento, onde o *Magnet Tools* realiza o processamento inicial dos dados brutos para obter observações básicas, como as coordenadas dos pontos coletados, incluindo a correção de erros de relógio do receptor, erros de efemérides, erros troposférico, erros ionosféricos, entre outros.

Figura 17: Configurações dos parâmetros dos pontos no software *Magnet Tools*.



Fonte: Autora (2023).

Para melhorar a precisão das coordenadas e minimizar o erro de posicionamento, foram realizadas diversas edições nos satélites, desabilitando parte dos satélites em que os sinais não eram contínuos e refazendo o processamento, como também o ajustamento dos dados. A técnica utilizada para o ajustamento estatístico é o método dos mínimos quadrados,

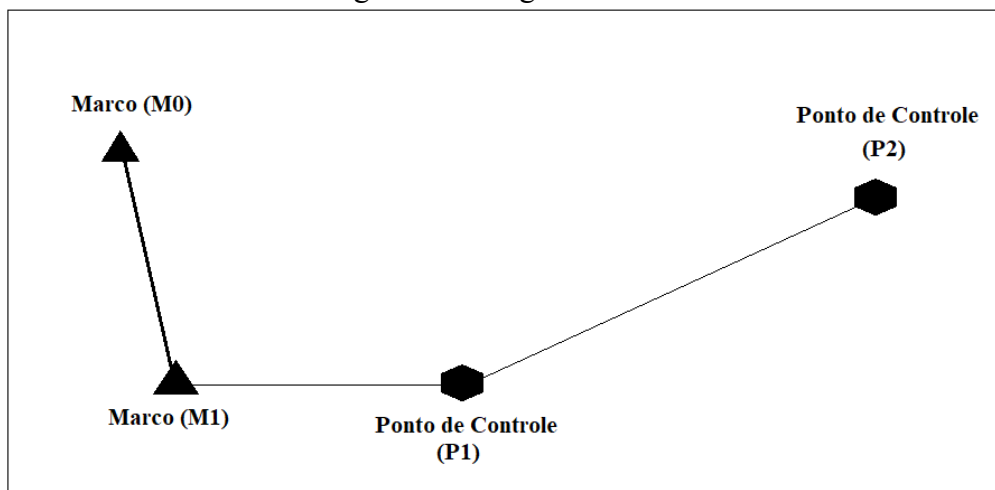
para determinar as coordenadas corrigidas dos pontos de levantamento, considerando fatores como as observações redundantes, os erros das observações e as restrições definidas.

Também foram realizados testes sobre a elevação das massas dos satélites. As variações na massa podem impactar o rastreamento e processamento dos dados, uma vez que, quando ocorrem essas mudanças, a distribuição da massa pode sofrer algumas influências. Dessa forma, foram modeladas as órbitas dos satélites a fim de realizar correções nos dados coletados pelas as estações e receptores GNSS usando elevações de 15m, 20m, 25m e 30m, sendo adotada para o processamento a elevação de 25m, pois trouxe resultados mais precisos.

3.5. Levantamento Topográfico e Escaneamento Tridimensional

Foram definidos como pontos de controle P1 e P2. O método empregado foi da poligonal aberta (Figura 18), com graduação de grau X, método disposto pela *British Cave Research Association* (BCRA) segundo Assunção & Bragante-Filho (2023), utilizando a Estação Total Robótica (ETR) para obter medidas e escanear a gruta com alta precisão.

Figura 18: Poligonal Aberta



Fonte: Autora (2023).

No levantamento topográfico foram utilizados os materiais apresentados nas Figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

Figura 19: Leica Nova MS50 MultiStation For Surveying,



Fonte: Surveying, 2021.

Figura 20: Tripé de Alumínio



Fonte: LHGeo, 2023.

Figura 21: Tripé para Bastão



Fonte: LHGeo, 2023.

Figura 22: Bastão Para Prima



Fonte: LHGeo, 2023.

Figura 23: Prisma único novo da cor vermelha para a estação total.



Fonte: Aliexpress, 2023.

Figura 24: Trena de Fibra Longa Caixa Aberta com 50M



Fonte: Loja do Mecânico, 2023.

A ETR MS50 coleta informações sobre ângulos horizontais e verticais, além de distâncias, utilizando técnicas como a medição eletrônica de distância. Os dados são armazenados na memória interna da estação ou em cartões de memória. A ETR utiliza tecnologia avançada de digitalização a laser, capturando milhões de pontos de medição em uma cena, gerando uma nuvem de pontos tridimensional que representa com precisão a superfície do objeto ou ambiente.

O Scanner 3D do salão de entrada da gruta foi realizado no ponto de controle P2. Logo, nas configurações para scanner foi necessário informar o espaçamento entre os pontos da nuvem, a distância definida foi de 10 cm x 10 cm, onde o raio de captura da nuvem de pontos começou a partir de três metros da estação. Além do escaneamento do salão também foi realizado o scanner da entrada da gruta.

A Leica conta com um software específico, o *Leica Infinity*, para processar os dados coletados pela ETR. Ao importar o arquivo de entrada XML no software, a nuvem de pontos é processada automaticamente e exibida na interface do programa. Isso possibilita a análise e extração de informações dos dados coletados.

Para calcular o volume da área interna da gruta, foi criada uma nova superfície, resultando em uma malha triangular. Com essa superfície gerada, obtiveram-se detalhes como o número total de pontos na nuvem, a quantidade de triângulos, nós conectados, entre outros. O mesmo processo se repetiu para o scanner realizado para a entrada da gruta.

Para realizar os cálculos como: altura máxima capturada, altura mínima capturada, volume, área em 3D e 2D, perímetro em 3D e 2D, usou-se a ferramenta "*to Height*". Também foi gerado um relatório através do próprio *Leica Infinity*, contendo todas as medidas obtidas e exportado em formato PDF.

4 RESULTADOS

4.1.Coordenadas Geodésicas com GNSS

Na Tabela 5, encontram-se as coordenadas processadas utilizando o método de processamento Por Ponto Preciso no IBGE-PPP e o desvio padrão na Tabela 6. Essas coordenadas foram determinadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000).

Tabela 5: Coordenadas processadas no IBGE-PPP.

Marco	Data do Processamento	Órbitas dos satélites	UTM N(m)	UTM E(m)	Alt. Geo.(m)
M0	01/11/2023	ULTRA- RÁPIDA	8010650,651	299761,795	667,56
M1	01/11/2023	ULTRA- RÁPIDA	8010665,389	299771,422	665,68
M0	03/11/2023	RÁPIDA	8010650,649	299761,874	667,48
M1	03/11/2023	RÁPIDA	8010665,314	299771,305	666,22

Fonte: Autora (2023).

Tabela 6: Desvio padrão (sigma) para as coordenadas processadas no IBGE-PPP.

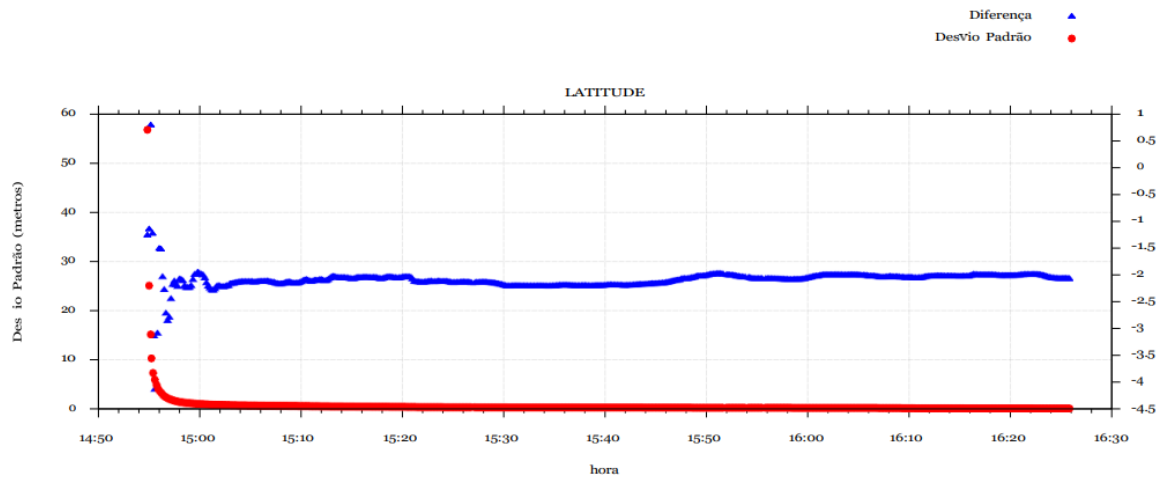
Marco	Data do Processamento	Órbitas dos satélites	Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude (m)
M0	01/11/2023	Sigma (m)	0,065	0,424	0,334
M1	01/11/2023	Sigma (m)	0,024	0,044	0,140
M0	03/11/2023	Sigma (m)	0,063	0,405	0,324
M1	03/11/2023	Sigma (m)	0,024	0,041	0,123

Fonte: Autora (2023).

Comparando as coordenadas processadas nas órbitas dos satélites RÁPIDAS com as ULTRA-RÁPIDAS, embora a diferença em metros não seja significativa, observou-se uma ligeira melhora nos sigmas das soluções RÁPIDAS.

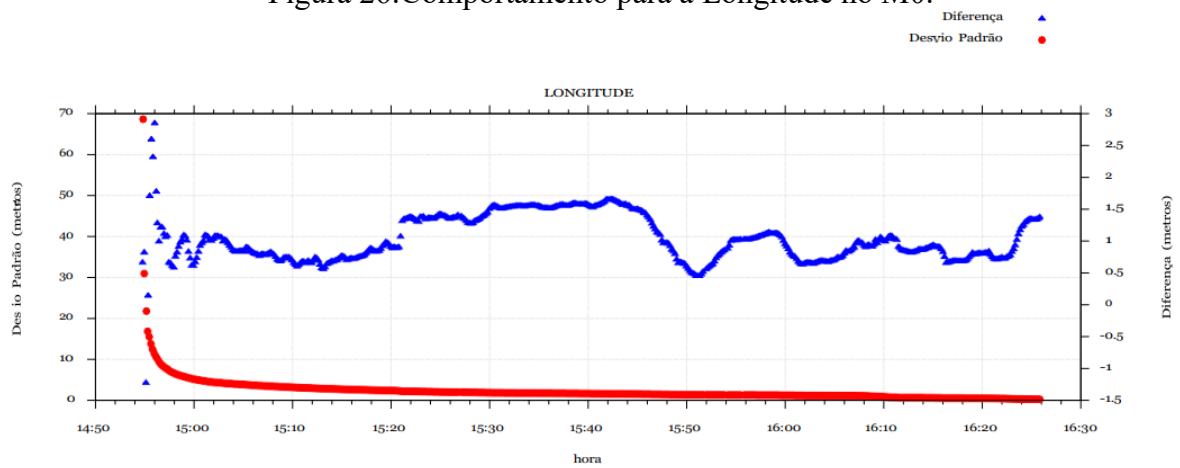
Nas Figuras 25, 26 e 27, os gráficos ilustram o comportamento dos desvios padrão e da diferença da coordenada a priori durante o rastreamento realizado no M0. Nota-se uma interrupção na transmissão do sinal nos primeiros 15 minutos de rastreamento, resultando em outliers, conseqüentemente desvios padrões altos. Ao examinarmos especificamente o desvio padrão e a diferença da coordenada a priori da Longitude (Figura 26), observamos um padrão ainda mais irregular na transmissão do sinal, justificando o valor mais elevado para a coordenada leste (E).

Figura 25:Comportamento para a Latitude no M0.



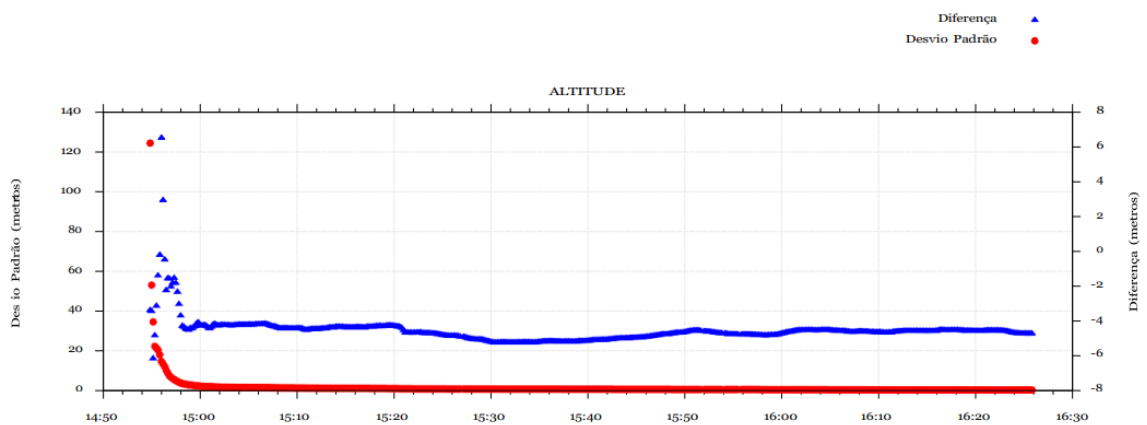
Fonte: Autora (2023).

Figura 26:Comportamento para a Longitude no M0.



Fonte: Autora (2023).

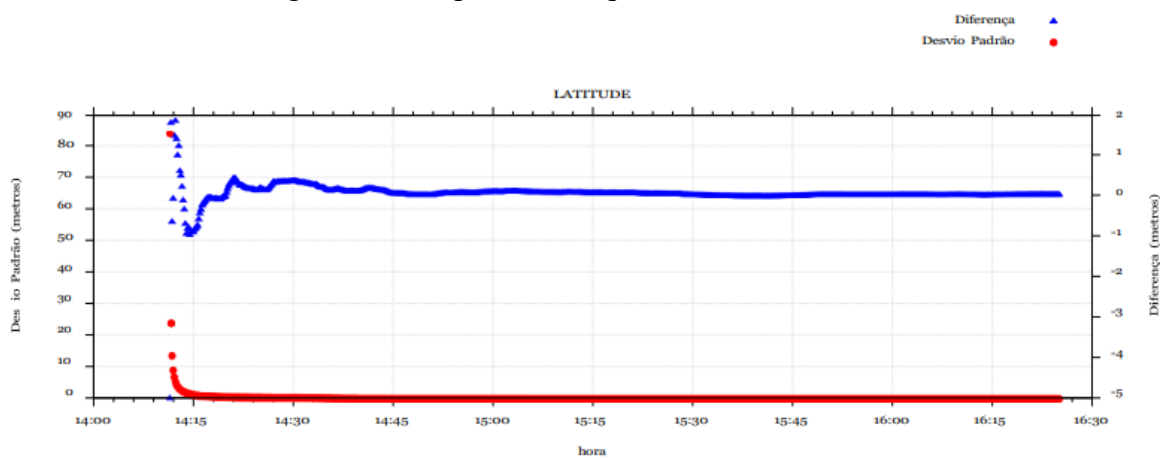
Figura 27:Comportamento para a Altitude no M0.



Fonte: Autora (2023).

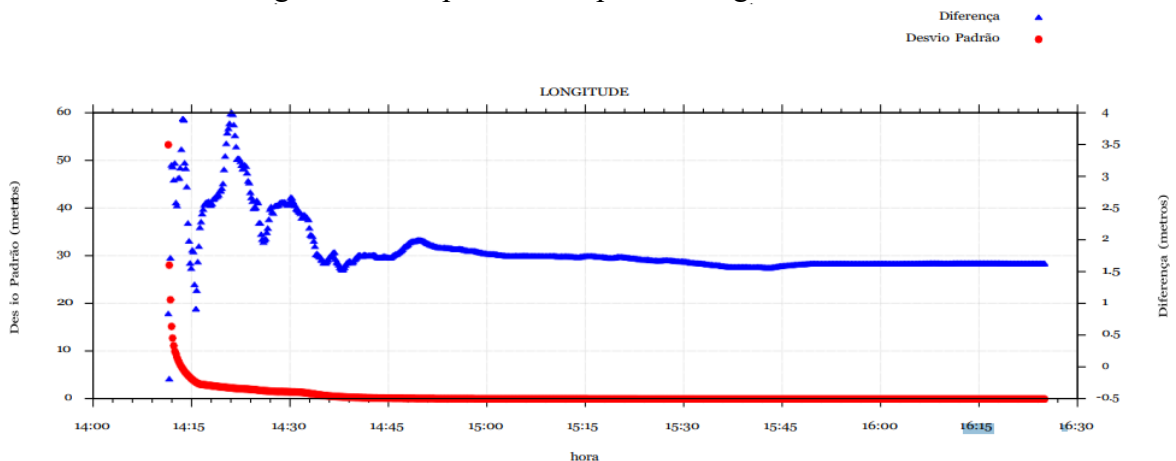
Nos gráficos apresentados nas Figuras 28, 29 e 30 que delineiam o comportamento dos desvios padrão e da diferença da coordenada a priori durante o rastreamento realizado no M1, é evidente que as diferenças em metros na Latitude e Longitude são menores em comparação com as do M0, o que se reflete nos valores menores dos desvios padrões. No entanto, ao analisarmos o comportamento da Altitude (Figura 30) em relação à Latitude (Figura 28) e Longitude (Figura 29) do M1, percebemos que a distância a priori foi maior, explicando assim o motivo pelo qual o desvio padrão para a Altitude do M1 foi mais elevado.

Figura 28:Comportamento para a Latitude no M1.



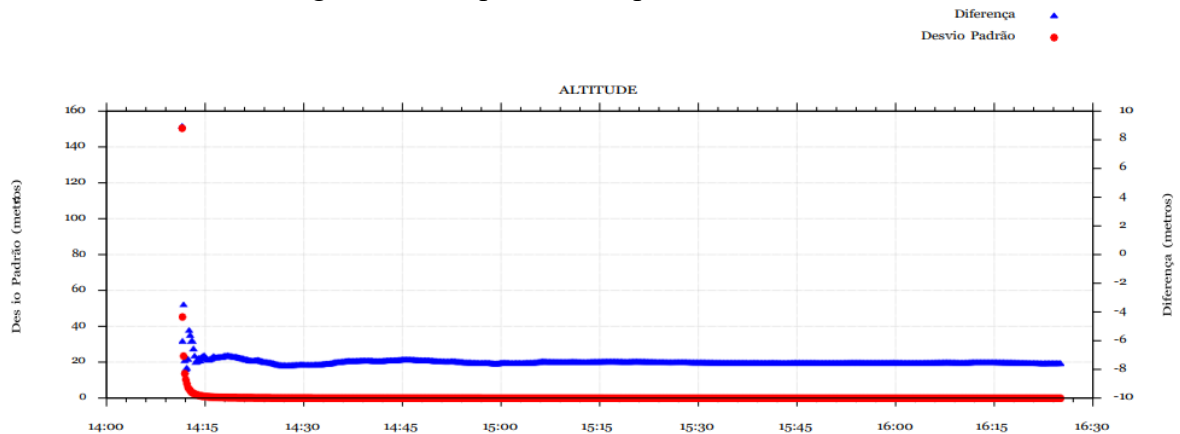
Fonte: Autora (2023).

Figura 29:Comportamento para a Longitude no M1.



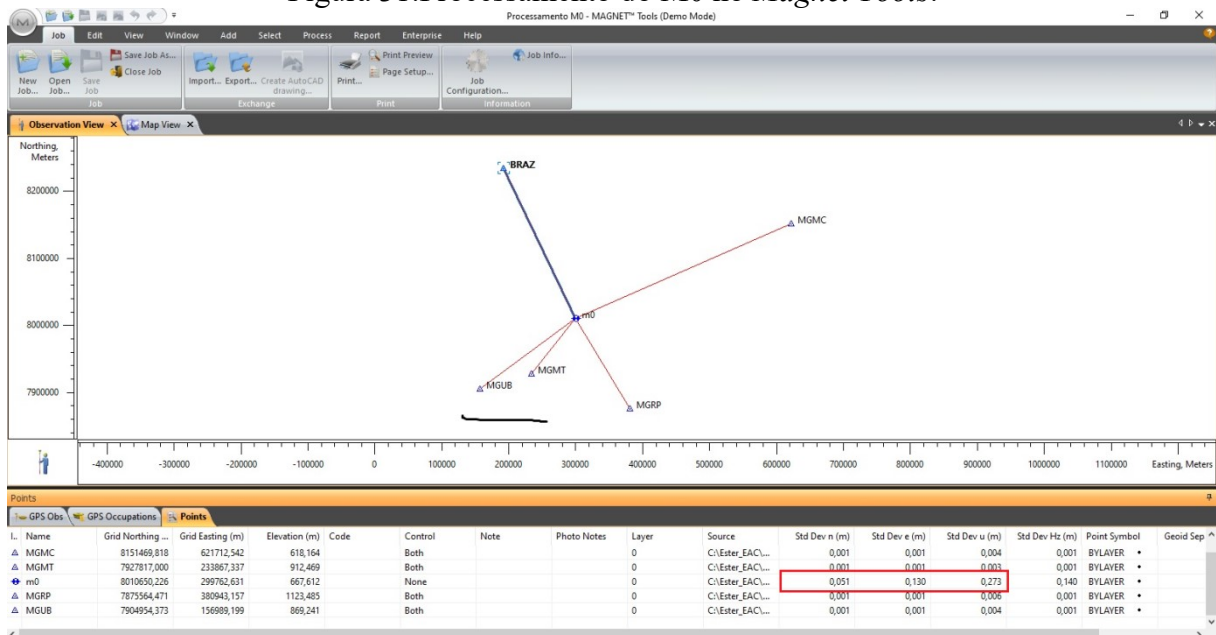
Fonte: Autora (2023).

Figura 30:Comportamento para a Altitude no M1.



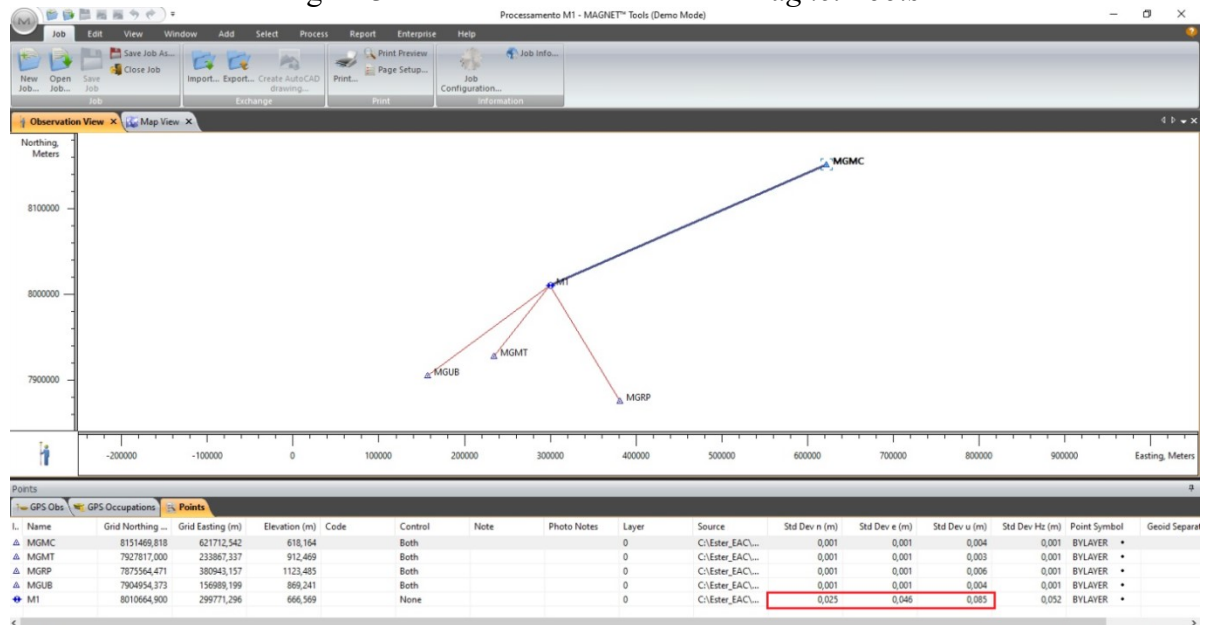
Fonte: Autora (2023).

Durante o processamento no *Magnet Tools*, notou-se que o M0 apresentou uma melhoria no desvio padrão (Figura 31). No entanto, nos testes realizados no M1 (Figura 32), observou-se que, ao melhorar a Latitude e Longitude, a Altitude aumentava ainda mais. Por outro lado, quando a Altitude era aprimorada, o desvio padrão para Latitude e Longitude piorava. Diante disso, optou-se por aprimorar a Altitude, visando aproximar a precisão com os valores de referência do IBGE-PPP, chegando ao resultado conforme demonstrado na Tabela 7.

Figura 31:Processamento do M0 no *Magnet Tools*.

Fonte: Autora (2023).

Figura 32: Processamento do M1 no Magnet Tools.



Fonte: Autora (2023).

Tabela 7: Coordenadas processadas no Magnet Tools.

Coordenadas			
	UTM N(m)	UTM E(m)	Alt. Geo.(m)
M0	8010650,226	299762,631	667,612
M1	8010664,900	299771,296	666,569
Desvio padrão (sigma)			
	Latitude (X)	Longitude (Y)	Altitude (Z)
M0	0,051	0,130	0,273
M1	0,025	0,046	0,085

Fonte: Autora (2023).

Conforme os valores de referência do IBGE-PPP (Figura 33) nenhum dos processamentos atingiu a precisão esperada dos sigmas em metros, após duas horas de rastreamento, uma possível razão para a imprecisão pode ter correlação à presença de árvores e ao paredão de rocha presente na entrada da gruta, causando interrupções no sinal do satélite.

Figura 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

Fonte: IBGE-PPP (2023).

Na norma técnica para Georreferenciamento de imóveis rurais do INCRA, 3ª edição (2013), os padrões de precisão para vértices em limites artificiais devem ser iguais ou melhores que 0,50m, enquanto para limites naturais, a precisão deve ser igual ou melhor que 3,00m. Tomando como referência a norma, os sigmas adotados nos processamentos realizados para M0 e M1 atendem precisão para as coordenadas determinadas, considerando que a área de estudo está localizada em uma região rural e com limites naturais.

4.2. Espeleotopografia e Representação em 3D

4.2.1. Resultados Espeleológicos

As áreas, perímetros, alturas e volume medidos dentro do salão principal de entrada, estão apresentados na Tabela 8. Já as medidas obtidas da estrada podem ser visualizadas na Tabela 9.

Tabela 8: Medidas do Salão Principal de Entrada.

Descrição	Medida
Área 3D	5.110,65 m ²
Área 2D	3.116,46 m ²
Perímetro 3D	1.280,63 m
Perímetro 2D	1.043,87 m
Altura máxima medida	122,66 m
Volume Total	6.186,63 m ³

Fonte: Autora (2023).

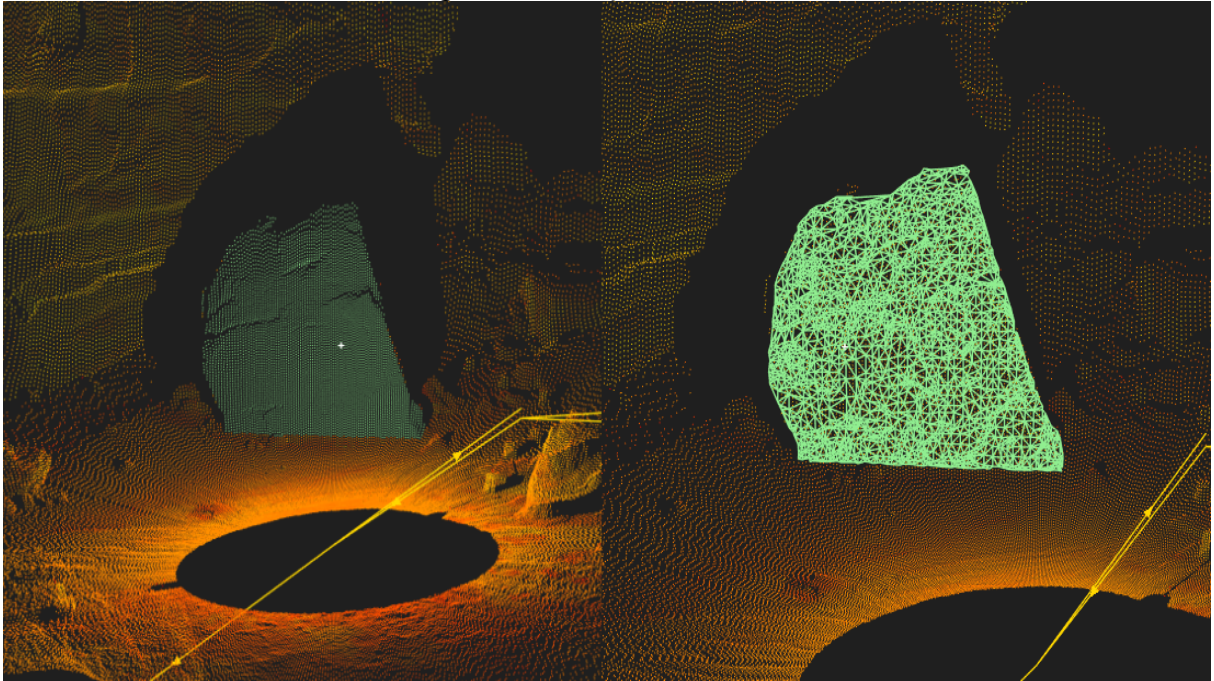
Tabela 9: Medidas da Entrada da Gruta.

Descrição	Medida
Área 3D	1.138,67 m ²
Área 2D	560,85 m ²
Perímetro 3D	237,29 m
Perímetro 2D	173,43 m
Altura máxima medida	125,4086 m
Volume Total	735,22 m ³

Fonte: Autora (2023).

A *Leica Infinity* também permite que o usuário faça seleções isoladas de feições específicas, quando gerada uma superfície nova através da malha triangular, possibilitando obter medidas e realizar análises isoladas. A Figura 34 representa graficamente um fragmento rochoso desprendido da abertura da estrada da Gruta da Lapa Nova.

Figura 34: Seleção de Feições.

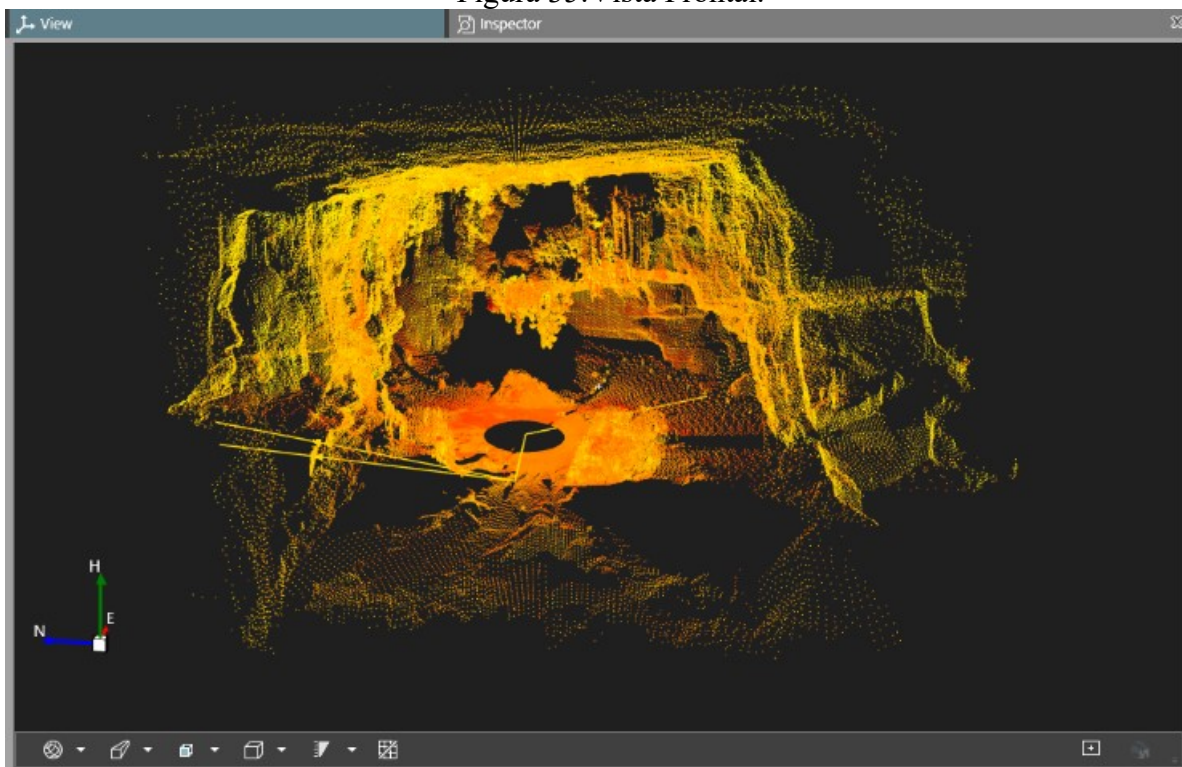


Fonte: Autora (2023).

4.2.2. Resultados da Representação Tridimensional

Após a importação dos dados, realizou-se a filtragem, excluindo os pontos em que a densidade da nuvem não estava adequada. A Figura 35 apresenta a visualização da nuvem gerada para o salão onde é possível observar a representação em 3D da vista frontal do salão de entrada da gruta, através da nuvem de pontos formada.

Figura 35: Vista Frontal.



Fonte: Autora (2023).

O *Leica Infinity* possibilita interagir de forma dinâmica com a nuvem de pontos, facilitando visualizar de forma mais clara alguns detalhes, como evidenciado na Figura 36 em que é possível observar a representação do teto da gruta e as formações rochosas.

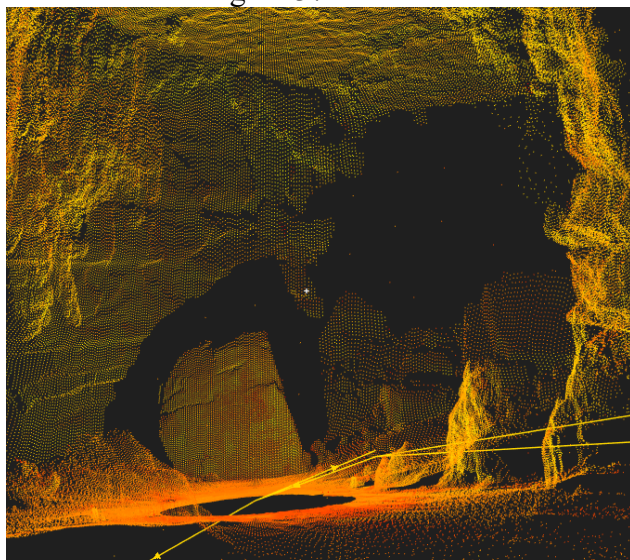
Figura 36: Vista da representação 3D do teto da Gruta.



Fonte: Autora (2023).

Como observado a ETR gera uma sombra atrás das superfícies rochosas, onde o laser não consegue escanear, e também em áreas onde não é possível identificar uma superfície sólida. Conforme observado nas Figuras 37 e 38 abaixo comparadas, a sombra está presente na representação, onde se localiza a abertura da gruta.

Figura 37:Scanner.



Fonte: Autora (2023).

Figura 38:Foto tirada.

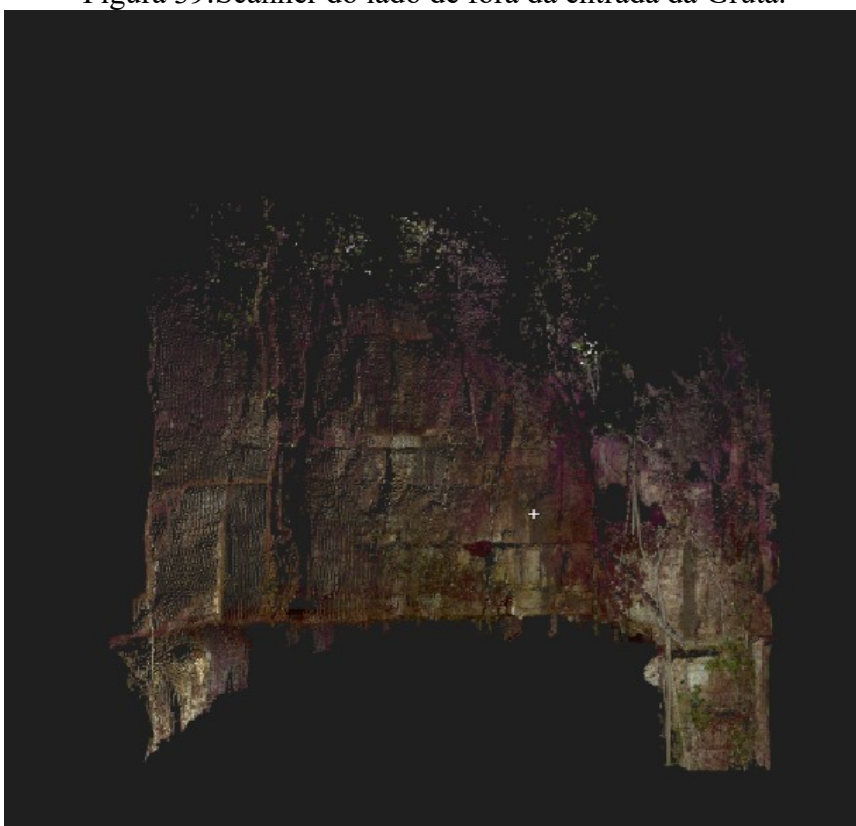


Fonte: Autora (2023).

Espalhada a nuvem de pontos na aba de visualização do software *Leica Infinity*, o usuário obtém uma experiência visual interna do salão de entrada da gruta. A ETR possui uma tecnologia que otimizar os levantamentos topográficos executados, facilitando os trabalhos a serem desenvolvidos, bem como a qualidade dos dados gerados e a precisão das medidas, conforme observado nos resultados deste trabalho.

Na Figura 39, consta a representação da entrada da gruta vista do lado de fora. Como observado, essa representação apresenta uma maior riqueza de detalhes, permitindo visualizar as composições das cores e formações rochosas de maneira mais nítida. Isso se deve porque scanner realizado na entrada incluiu a composição da nuvem de pontos e imagens panorâmicas. A combinação desses elementos resultou em uma representação mais realista.

Figura 39:Scanner do lado de fora da entrada da Gruta.



Fonte: Autora (2023).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme o exposto, o segundo processamento utilizando o *Magnet Tools* para determinar as coordenadas dos marcos mostrou-se mais preciso, embora não tenha atendido à precisão recomendada pelo IBGE-PPP. No entanto, as árvores densas e o paredão de rocha presente na entrada da gruta, onde os marcos foram implantados, podem ter contribuído para o bloqueio parcial na linha de visão entre o receptor e os satélites, prejudicando a recepção dos sinais, resultando em uma precisão reduzida. Considerando que a localização da área de estudo está em uma região rural, o levantamento atendeu aos parâmetros de precisão da norma vigente do INCRA.

Recomenda-se que os marcos implantados sejam homologados pelo IBGE, sendo necessário realizar outro rastreamento, seguindo os critérios estabelecidos pelo IBGE, onde são necessárias 4 (quatro) sessões de levantamento, cada uma com duração mínima de 6 horas, sendo independentes entre si e com um intervalo máximo de 48 horas entre as sessões. Também é recomendada a fixação das chapas de identificação nos marcos, que foram construídos com espaço para a instalação das mesmas.

O levantamento espeleológico realizado com a ETR permitiu a determinação precisa das medidas da Gruta da Lapa Nova, assim como o scanner em terceira dimensão possibilitou representar detalhadamente as formações rochosas, apesar de neste trabalho conter apenas as capturas de tela da nuvem de pontos escaneada. Adicionalmente, seria interessante dar continuidade à representação tridimensional dos demais salões da gruta, a fim de registrar precisamente as formações rochosas.

Trabalhos como esse auxiliam na conservação de unidade de preservação ambiental, visto que estudos com temáticas semelhantes são realizados em diversas áreas, utilizando equipamentos que possuem as tecnologias do scanner 3D, permitindo modelar a superfície em terceira dimensão e assim contribuir para a restauração de obras e patrimônios culturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEXPRESS. Prisma único novo da cor vermelha para a estação total. 2023. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32964731587.html>>. Acesso em 18 de maio de 2023.

ASSUNÇÃO, P.H.S; BRAGANTE-FILHO, M.A. Atual metodologia de mapeamento de cavernas realizada pela Sociedade Excursionista e Espeleológica – SEE. In: RASTEIRO, M.A; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais. Campinas: SBE, p.275-280, 2015. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/33cbe_276-279.pdf>. Acesso em: Acesso em 15 de maio de 2023.

AZMY, K; KENDALL, B; CREASER, R. A; HEAMAN, L. & DE OLIVEIRA, T. F. Correlação global do Grupo Vazante, Bacia do São Francisco, Brasil: Restrições de Idade Radiométrica Re–Os e U–Pb. Pesquisa pré-cambriana, p. 164, 2008.

CAMPOS, J. A. M; MORAES, M. S; CORTEZ, H. B; SOUZA, J. F. E FRÓES, V. N. Uso de Drones para Auxílio de Levantamento Topográfico: Comparativo Entre Laser Scanner, Drone (Ortofoto) e Estação Total (2019). XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2019. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.13.16.00/doc/97491.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

CARVALHO, P. R. C. Estudo das distorções do sistema geodésico de referência da região metropolitana do Recife. Dissertação ao Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.

CECAV. Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro (2022). Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2022. Disponível em:<<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/anuario-estatistico-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro/cecav-anuario-estatistico-espeleologico-2022.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

COLLISCHONN, C. Planejamento, Materialização e Controle de Qualidade de Rede Geodésica (2013). 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto alegre.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Espeleologia: o estudo das cavernas. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2014. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Espeleologia%3A-o-estudo-das-cavernas-1278.html#:~:text=O%20termo%20caverna%20\(do%20latim,conforme%20topografia%2C%20comprimento%20e%20forma.](http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Espeleologia%3A-o-estudo-das-cavernas-1278.html#:~:text=O%20termo%20caverna%20(do%20latim,conforme%20topografia%2C%20comprimento%20e%20forma.)> . Acesso em: 18 abr. 2023.

DAVIES, W. E; MORGAN, I. N. Geology of Caves. U. S. Geological Survey, United States Department of the Interior, 19 p, 1991.

DIAP, Departamento Intersindical de Assessoria Parlamentar. Proposta De Criação Do Monumento Natural Estadual Gruta Lapa Nova De Vazante. Gerência de Criação e Implantação de Áreas Protegidas. Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA. Belo Horizonte, Novembro de 2014. Disponível em:<https://documentacao.socioambiental.org/noticias/anexo_noticia//30270_20150313_144936>.pdf. Acesso em: 18 abr. 2023.

DIAS, P. H. A. et al. Distribuição das rochas do Grupo Vazante e localização das principais áreas de mineralizações de zinco e chumbo (adaptado de Monteiro et al. 2006). 2019. Disponível em:<https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Distribuicao-das-rochas-do-Grupo-Vazante-e-localizacao-das-principais-areas-de_fig3_330635592>. Acesso em: 13 maio de 2023.

DOMPIERI, M. H. G. SILVA, M. A. S. NOGUEIRA JÚNIOR, L. R. Sistemas de Referência Terrestre e Posicionamento por Satélite. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2015.

EMBRATOP; TOPCON. Magnet office tools: Guia prático de pós-processamento. PDF. 2022. Disponível em:< <https://www.embratop.com.br/wp-content/uploads/2022/08/04-GUIA-PRATICO-MAGNET-OFFICE-TOOLS-AJUSTAR-LEVANTAMENTO-RTK.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

FAZAN, J. A.; Aplicação do teste de congruência global e análise geométrica para detecção de deslocamentos em redes geodésicas: Estudo de caso na UHE de Itaipu. ed.rev. São Paulo, 2010. 277p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo.

FERREIRA, W.D.Q. Implantação da Rede de Referência Cadastral Municipal na Área Urbana do Município de Abaetetuba – PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura). Universidade Federal Rural da Amazônia Instituto Ciberespacial. 2018.

GONÇALES, R. Dispositivo de varredura 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis. São Paulo: ed. Rev, 2007.

IBGE.a, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rede Altimétrica. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16283-rede-altimetrica.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 19 de Abr de 2023.

IBGE.b, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rede Gravimétrica. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16286-rede-gravimetrica.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 19 de Abr de 2023.

IBGE.c. Mapa das redes do Sistema Geodésico Brasileiro 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/brasil-redes-geodesicas/29614-mapa-das-redes-do-sistema-geodesico-brasileiro.html>>. Acesso em: 13 mai. 2023

IBGE.d, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Padronização de Marcos Geodésicos. Agosto de 2008.

IBGE.f. Forma com os padrões utilizados para o marco piramidal. Padronização de Marcos Geodésicos. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/normas/16466-padronizacao-de-marcos-geodesicos.html>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE-PPP. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS. Site. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento->

geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>. Acesso em: 01 nov. 2023.

INCRA, Instituto Nacional de Colonização e reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento, Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 2º Ed. Brasília, 2013.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais: 3a edição. Brasília, 2013.

KAMBESIS, P. The importance of cave exploration to scientific research. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, no. 1, pp. 46–58, 2007.

LEICA GEOSYSTEMS. Guia *Leica Infinity* (GNSS). PDF. 2018. Disponível em:<<https://docplayer.com.br/84879451-Leica-gnss-cookbook.html>>. Acesso em 20 de maio de 2023.

LEICA GEOSYSTEMS. Software de topografia *Leica Infinity*. 2023. Disponível em:<<https://leica-geosystems.com/pt-br/products/gnss-systems/software/leica-infinity>>. Acesso em 20 de maio de 2023.

LHGEO. Equipamentos topográficos. Site, LHGeo Equipamentos Topográficos. 2023. Disponível em:< <https://www.lhgeo.com.br/>>. Acesso em 18 de maio de 2023.

MARINI, M. C. Integração da Rede GPS Itesp ao Sistema Geodésico Brasileiro. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2002.

MARQUES, C.S.S; UHLEIN, A; OLIVEIRA, G.D; UHLEIN, G.J; SIAL, A.N; ALVARENGA, C.J.S. Geologia e Químioestratigrafia isotópica do Grupo Vazante em Lagamar (MG). *Geonomos*, vol. 23, n. 1, p. 26-41, 2015.

MARQUES, H. A.; PPP em Tempo Real com Estimativa das Correções dos Relógios dos Satélites no Contexto De Rede GNSS. Presidente Prudente: [s.n], 2012 xxxvi, 244 f.

MECÂNICO, L. Trena de Fibra Longa Caixa Aberta com 50M - VONDER-3869503050. Site, Loja do Mecânico. 2023. Disponível em:<

<https://www.lojadomecanico.com.br/produto/126221/31/271/trena-de-fibra-longa-caixa-aberta-com-50m-vonder-3869503050>> . Acesso em 18 de maio de 2023.

MIRANDA, José I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MISI, A; KAUFMAN, A.J; AZMY, K; DARDENNE, M.A; SIAL, A.N; OLIVEIRA, T.F. Neoproterozoic successions of the São Francisco Craton, Brazil: the Bambuí, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. Geological Society, London, Memoirs, v. 36, p. 509-522, 2011.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP. 2008.

MOURA, V. Prospeção espeleológica, topografia e espeleometria de cavernas. III Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), v.1, p.45-88. 2011.

OLIVEIRA, A.B; FREITAS, D.R. Instrumentos Topográficos: Avaliação Do Sistema De Varredura A Laser. Revista Paramétrica. v. 14, n. 2, ago/dez. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/download/8659734/28100>>. Acesso em 20 de maio de 2023.

PINHO, J. M. M; FÉBOLI, W. L; SIGNORELLI, N. (Eds.). Projeto Vazante – Paracatu, Estado de Minas Gerais e Goiás: texto explicativo. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Belo Horizonte: CPRM-BH, TULLER, M. P. et al. (Orgs.). 2017.

RODRIGUES, V. A. Implantação da Rede Geodésica Unesp para Integração ao Sistema Geodésico Brasileiro. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade De Ciências Agrônômicas, Câmpus de Botucatu. Botucatu-SP. 2006. 5p. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103448>>. Acesso em: 01 mai. 2023.

RUBBIOLI, E. Topografia e espeleometria de cavidades naturais. IV Curso de espeleologia e licenciamento ambiental. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), 2013. p. 53-66.

SEE, Sociedade Excursionista e Espeleológica. A Espeleologia. Revista. Disponível em:<<https://see.ufop.br/espeleologia>>. Acesso em 14 de maio de 2023.

SEE, Sociedade Excursionista e Espeleológica. Relatório Anual de Atividades 2021-2022. Exemplo de planta baixa, Perfil ou Corte Longitudinal, de Cortes transversais ou Seções. 2022. Revista. Disponível em:<<https://see.ufop.br/relat%C3%B3rios>>. Acesso em 14 de maio de 2023.

SOUZA, C. E. F. Caracterização Geológica e Topografia Espeleológica da Gruta do Castelo, Vale Dopati, Chapada Diamantina (BA). 2019. Universidade Federal Da Bahia Instituto De Geociências Curso De Geologia. Monografia.

SOUZA, G.F; SILVEIRA, L.N. Implantação de Marcos Geodésicos para Projetos de Construção e Restauração de Rodovias. Artigo. Tecnologia e Ambiente. 2013. Disponível em:<<https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/1090>>. Acesso em: 01 mai. 2023.

SURVEYING, C. Leica Nova MS50 MultiStation para levantamento. Site Califf Surveying. 2021. Disponível em:< <https://califfsurveying.com/product/leica-nova-ms50>>. Acesso em 18 de maio de 2023.

VAZANTE. A Cidade: Apresentação. Prefeitura de Vazante - MG. Disponível em: <<https://www.vazante.mg.gov.br/a-cidade/>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

VEIGA, L.A.K; ZANETTI, M. A. Z; FAGGION, P.L. Fundamentos De Topografia. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná. Apostila de Topografia I e Topografia II. 2012.

WINGE, M. et. al. 2001 – 2023 Glossário Geológico Ilustrado. Disponível em: <<https://sigep.eco.br/glossario/>>. Acesso em 14 de maio de 20