

Análise comparativa de dados altimétricos obtidos com Nivelamento Geométrico, GNSS RTK-NTRIP e Ortomosaicos com RPA

Jorge Renato Guandalini Batista¹

¹ Faculdade de Tecnologia de Jacareí – FATEC Jacareí. Av. Faria Lima, Jd. Santa Maria – Jacareí – SP, 12.328-150.

Resumo: Adotando uma Referência de Nível (RN 1971 N) oficial do IBGE no município de Taubaté – SP como parâmetro altimétrico, valeu-se de um nivelamento geométrico para o transporte das altitudes a 23 pontos em uma área de estacionamento em rampa. Com o fechamento do contranivelamento em 0,0009 metros e média dos pontos de 575,9402 m e 1,028 m de desvio padrão, comparou-se os dados obtidos no nivelamento com os resultados coletados nos mesmos pontos com GNSS RTK NTRIP, já corrigido para altitude ortométrica, onde apresentou uma média de 575,823 m e 1,025 m de desvio padrão, lembrando que média é um valor que demonstra a concentração dos dados de uma distribuição e desvio padrão é uma medida de dispersão em torno de uma média; chegou-se, portanto, para a diferença altimétrica entre o nivelamento e o GNSS a 0,117 m entre estes dois métodos. Com um sobrevoo de um RPA (Drone) Phantom 4 a 50 m de altura, gerou-se dois ortomosaicos no Agisoft Photoscan. O primeiro foi processado sem pontos de controle, somente com os dados do GNSS de navegação da aeronave, onde apresentou uma média altimétrica de 531,8715 m e 1,116 m de desvio padrão, em comparação com os resultados do nivelamento geométrico chegou-se a uma diferença de 44,069 metros. Já o segundo ortomosaico, contou com 12 pontos de controle e 12 pontos de checagem. O relatório do processamento deste ortomosaico, apresentou erro em Z (RMSE) de 1,482 cm para os pontos de controle, e a média para os 12 pontos de checagem ficou em 575,7456 m e 1,016 m de desvio padrão. Comparando-se com o nivelamento geométrico, têm-se uma diferença de 0,195 m, acrescida de erro no processamento das imagens chega-se a 0,209 m. Conclui-se que para se apoiar trabalhos que exijam dados altimétricos, é importante conhecer as especialidades de cada método e suas respectivas entregas de acurácia, tendo em vista que no âmbito dos levantamentos topográficos, medições que não apresentam resultados adequados as necessidades levam a depreciação dos resultados esperados e a consequências indesejadas como erros grosseiros e/ou sistemáticos.

Palavras chaves: Geoprocessamento, RPA, Ortomosaico, Nivelamento Geométrico, GNSS RTK, NTRIP.

Summary: Adopting a Level Reference (RN 1971 N) official from IBGE in the municipality of Taubaté – SP as an altimetric parameter, a geometric leveling was used to transport altitudes to 23 points in a ramp parking area. With the closure of the counter-leveling at 0.0009 meters and an average of the points of 575.9402 m and 1.028 m of standard deviation, the data obtained during leveling were compared with the results collected at the same points with GNSS RTK NTRIP, already corrected for orthometric altitude, where it presented an average of 575.823 m and a standard deviation of 1.025 m, remembering that the average is a value that demonstrates the concentration of data in a distribution and the standard deviation is a measure of dispersion around an average; Therefore, the altimetric difference between leveling and GNSS was reached at 0.117 m between these two methods. With a flyby of an RPA (Drone) Phantom 4 at a height of 50 m, two orthomosaics were generated in Agisoft Photoscan. The first was processed without control points, only with data from the aircraft's navigation GNSS, where it presented an altimetric average of 531.8715 m and 1.116 m standard deviation, in comparison with the geometric leveling results a difference was reached. of 44,069 meters. The second orthomosaic had 12 control points and 12 checkpoints. The processing report of this orthomosaic presented an error in Z (RMSE) of 1.482 cm for the control points, and the average for the 12 checkpoints was 575.7456 m and 1.016 m standard deviation. Comparing with geometric leveling, there is a difference of 0.195 m, plus error in image processing, reaching 0.209 m. It is concluded that in order to support work that requires altimetric data, it is important to know the specialties of each method and their respective accuracy deliverables, considering that in the scope of topographic surveys, measurements that do not present results adequate to the needs lead to depreciation of the expected results and undesired consequences such as gross and/or systematic errors.

Key Words: Geoprocessing, RPA, Orthomosaic, Geometric Leveling, GNSS RTK, NTRIP.

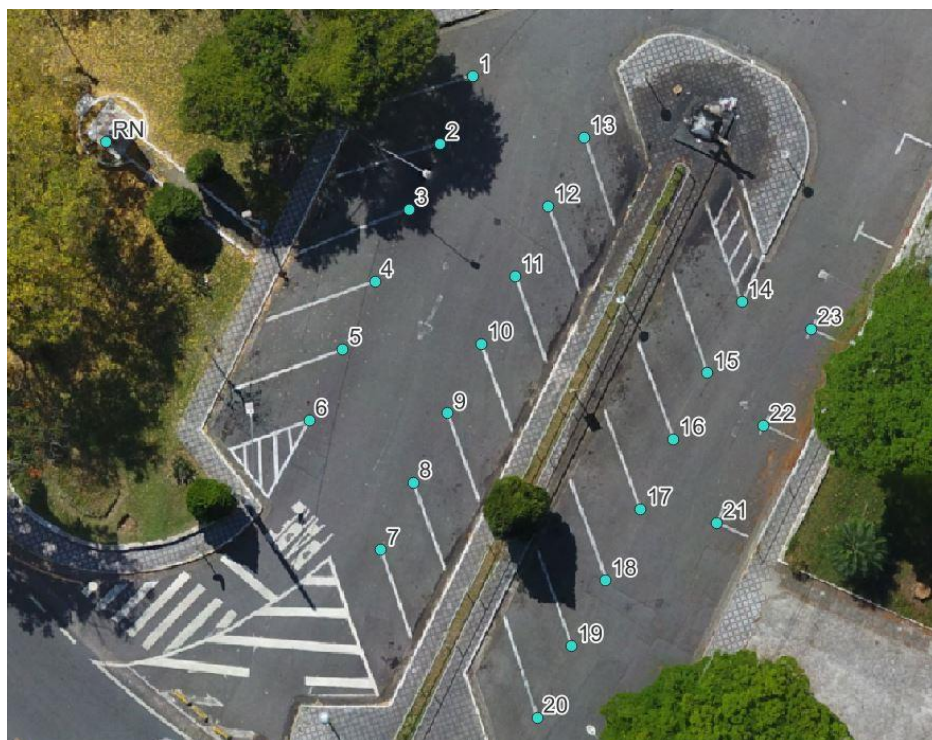
1. Introdução

O estudo do relevo de um terreno, planimetricamente conhecido, consiste na determinação das alturas de seus pontos característicos e definidores da altimetria, relacionados com uma superfície de nível que se torna como elemento de comparação equipotencial (COMASTRI, J. A.; TULER, J. C.; 2005). Especificamente, conforme Da Silva e Segantine (2015), a altimetria é a área que estuda os métodos e os instrumentos utilizados para a determinação do relevo do terreno. E ao conjunto de operações de campo realizadas para a determinação das altitudes, cotas ou diferenças de alturas entre pontos, dá-se o nome de levantamento altimétrico ou nivelamento.

Chama-se altura de um ponto, em altimetria, o comprimento da perpendicular baixada deste ponto sobre um plano horizontal qualquer, denominado superfície de nível de comparação. Porém, quando se toma como superfície de nível de comparação a correspondente à superfície média dos mares, suposta prolongada por baixo dos continentes, as alturas dos diferentes pontos característicos estudados recebem a denominação de altitudes. (COMASTRI, J. A.; TULER, J. C.; 2005).

Para este trabalho, buscou-se a determinação de altitudes a partir de quatro métodos, pelo motivo de haver características peculiares a cada técnica, seja em função do tempo de execução, condições climáticas propícias e necessidades de trabalhos posteriores em escritório, tais como cálculos e processamento de imagens. Isto é importante para a otimização dos trabalhos em campo, tendo em vista que com fins de garantir um melhor resultado, um comparativo entre os métodos demonstra a aplicabilidade de cada um frente a necessidade de precisão aos trabalhos que exijam o fator altimétrico para mensuração. O primeiro método, foi executado através de nivelamento geométrico, partindo-se de uma Referência de Nível (RN) oficial do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o qual Borges (2013) assim explana a respeito: “O nível do mar é conduzido para o interior dos continentes por trabalhos de nivelamento de alta precisão, sendo então colocadas marcas de referência de nível, em pontos previamente planejados, para que outros trabalhos se baseiem neles. Este transporte do nível do mar, por se trabalho de grande responsabilidade, é geralmente efetuado por entidades especializadas”. Para obtenção dos resultados deste método, emprega-se aparelhos conhecido como níveis topográficos, o que segundo Botelho, et al (2018) consiste em “Instrumento montado sobre tripé provido de luneta que tem seus montantes de apoio passíveis de nivelamento por meio de níveis de bolhas de ar contidas em tubos de vidro graduado em forma de arco”. Abaixo os pontos considerados para a execução deste trabalho:

Figura 1 – Área de estudo com a RN 1971 N e os 23 pontos de transferência das altitudes.



O segundo método para estabelecer a altitude e possibilitar um comparativo com os demais dados altimétricos pesquisados, é o emprego de receptores de satélite GNSS (Global Navigation Satellite System), que são antenas que recebem sinais eletromagnéticos de satélites artificiais, através de medição de distâncias pelo princípio da trilateração, determinam o posicionamento geográfico, desde que contenha no mínimo quatro satélites rastreados simultaneamente (SEGANTINE, P., C., L., DA SILVA, I.; p. 306, 2015). Conhecendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. Sendo assim, o sistema GNSS permite através de um sistema de coordenadas predefinidos a determinação da posição em qualquer lugar da Terra, fornecendo coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z), o qual podem ser transformadas em coordenadas geográficas (Latitude, Longitude, Altura Elipsoidal) e em coordenadas planas (Leste (E), Norte (N), Altitude (h)) (DA SILVA e SEGANTINE, 2015). As altitudes obtidas com o GNSS, precisam, para o emprego prático deste trabalho, estar vinculadas ao campo de gravidade da Terra, ou seja, as altitudes ortométricas, que possuem ligação com a realidade física. Para tanto, é indispensável o conhecimento da ondulação geoidal (MONICO, 2008). Esta transformação de altitude elipsoidal do GNSS para altitude ortométrica é obtida através do serviço MAPGEO do IBGE, que consiste em um aplicativo disponibilizado para o estabelecimento do modelo para a conversão de altitudes geométricas em altitudes físicas, que oferece a ondulação geoidal do Brasil, através de 450 estações gravimétricas. Sendo que este MAPGEO, foi avaliado através da comparação entre as altitudes ortométricas das 592 referências de níveis oficiais do IBGE com pontos cujas altitudes elipsoidais foram obtidas por técnica GNSS.

O terceiro método constitui-se em um levantamento aerofotogramétrico, onde são tiradas fotografias da superfície terrestre, a partir de sobrevoos com aeronaves com o eixo ótico da câmera na posição vertical (PAREDES, 1986). Fazendo-se uso de um RPA (*Remotely Piloted Aircraft System*) multirrotor, que serve de plataforma para a captação das imagens aéreas, e apoiando-se em técnicas de fotogrametria, o qual segundo Paredes (1986, p. 21) têm-se “A vantagem da fotogrametria está na visualização tridimensional do relevo”; ou seja, propicia dados altimétricos de interesse ao estudo. E através de processamento digital das imagens aéreas, que segundo Rosa (2009, p.197) têm-se imagens digitais como “uma matriz multidimensional, das várias dimensões que representam uma cena. Os índices das linhas e colunas da matriz da imagem digital identificam as coordenadas espaciais X e Y de cada elemento da área imageada no terreno (pixel), e o valor numérico de cada elemento da matriz identifica o brilho (radiância) daquela área”, sendo assim chega-se aos produtos aerofotogramétricos necessários ao desenvolvimento do estudo. Neste terceiro método valeu-se da captação das respectivas imagens aéreas com RPA sem correção de dados de coordenadas, fazendo-se uso apenas de dados brutos de localização GNSS da aeronave.

O quarto método utilizou para o produto aerofotogramétrico, o georreferenciamento, que segundo Fitz (2008) são produtos portados de um endereço espacial vinculado a um sistema de referência, definido por coordenadas geográficas ou planas.

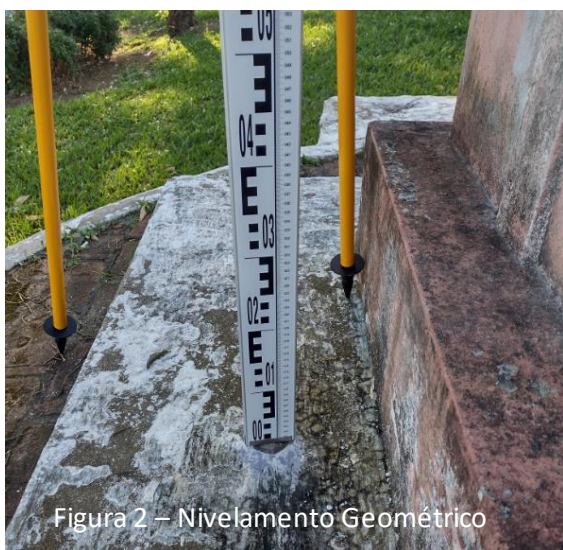
À compilação e análise dos dados foram realizadas com a apresentação sistemática em tabelas no aplicativo do Sistema operacional Windows 10 Excel e em um SIG (*Sistema de Informações Geográficas*), que vem a ser segundo Formaggio (2017, p. 215 *apud* Burrough e McDonnel (1998) e Landau, Guimarães e Hirsch (2015) “softwares compostos de vários módulos dedicados ao armazenamento e ao processamento de dados com localização geográfica conhecida (geoprocessamento), o que possibilita a análise de padrões, a integração de modelos espaciais, o monitoramento, a simulação de precisões e a apresentação de uma grande quantidade de informação em forma de mapas, gráficos, figuras e sistemas multimídia”.

Orientou-se para fins de comparativo das informações, o estabelecimento de desvio padrão da média de cada agrupamento de dados correspondente aos métodos empregados, para compreender o quão uniforme são cada conjunto, além de equação de regressão linear para a estimativa de valores esperados e gráfico de dispersão para indicar se há relação entre os métodos comparados. Sobretudo a depender do uso, um dado que apresenta um alto rigor de execução e resultado, pode não servir a uma finalidade que não necessite esta exigência. Porém, a utilização de uma informação sem alguma base de parâmetro pode acarretar sérios problemas de ordem técnica. Sendo assim, este trabalho tem como questão determinante saber: “Quais as variações da acurácia de dados altimétricos obtidos por métodos geotecnológicos diversos comparados a um nivelamento geométrico apoiado em uma referência de nível (RN) oficial do IBGE?”. Assim, o objetivo deste comparativo reside em destacar a importância da disponibilidade de quatro métodos distintos, cada um com suas próprias aplicações em campo bem definidas, com o intuito de adquirir um conhecimento que seja diretamente aplicável às diversas exigências das atividades de medição de dados altimétricos.

2. Materiais e Métodos

A busca de um local para a realização do estudo presumiu duas condições iniciais. A primeira é a existência de um referencial de nível (RN) oficial do IBGE. A outra condição é que no local escolhido deve haver uma diferença de nível considerável, por se tratar de um estudo de altimetria, uma área planificada não apresentaria dados divergentes, tornando a análise comparativa pouco expressiva. Através do Portal da Rede Altimétrica do IBGE, é possível a verificação dos marcos de RN. Destes, dos que se encontravam com boa situação, realizou-se uma análise prévia via Google Earth, para verificação de existência de aclives/declives nos terrenos próximos, assim como possíveis obstruções de árvores e qualquer outra interferência que pudesse prejudicar a geração das imagens aéreas e da coleta de pontos com receptores de satélites GNSS. Findada esta parte, definiu-se que a via de acesso ao Convento de Santa Clara, rua esta em rampa com vias de mão dupla e estacionamentos a 45° dos dois lados, localizada na Praça Anchieta, Centro, s/n°, no município de Taubaté, estado de São Paulo, atenderia as expectativas iniciais. Tendo em vista que ao pedestal de uma estátua religiosa, situada nesta mesma praça do convento, encontra-se em perfeito estado a RN 1971 N do IBGE, com altitude normal de 576,3003 m e desvio padrão de 0,066 m.

Devido ao estacionamento de automóveis a 45° e a existência de faixas brancas sobre o asfalto delimitadora das vagas, por assim serem, tornaram-se de grande utilidade para a definição de 23 pontos de interesse, pois, são visíveis a partir das imagens aéreas geradas por RPA e possuem distâncias suficientemente díspares, além de estarem em perfeita circunstância para o trabalho com os demais métodos. Prezou-se, pela pregação de pinos com arruelas cônicas com marcação a tinta vermelha em formato circular para a materialização das altitudes nos locais.



O primeiro método de obtenção de dados altimétricos, foi realizado no dia 14/05/2023 entre às 13:05 e 14:30, valendo-se de um nível topográfico automático, marca Geodetic/Foif, modelo DSZ2, acoplado de placa paralela (micrômetro), marca Geodetic, modelo FS1, com certificado de calibração em laboratório cadastrado, com data de 13/03/2023. Serviu-se de uma mira topográfica com frontal cm/mm com nível bolha e um bipé de centragem forçada, em conformidade com a ABNT 13133, que determina a operação do nivelamento geométrico com a mira devidamente verticalizada e apoiada, no caso deste trabalho em pinos e na chapa da RN do IBGE, evitando-se, portanto, qualquer contato com o solo. A operação do nivelamento saiu com ré na RN 1971 N, com em estação E1, vante no ponto 9, e mudança de estação para E2, realizando o transporte das altitudes e posteriormente, o contranivelamento nestes mesmos pontos. Estabelecendo um nivelamento geométrico composto.

Posteriormente, em 21/07/2023, utilizou-se um único receptor de satélite GNSS RTK (*Real Time Kinematic*), da marca EMLID, modelo Reach RS2+, instituindo-se as altitudes, com correção via protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), o que conforme o Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2ª Edição, do INCRA, este sistema RTK,

contempla várias estações de monitoramento contínuo conectadas a um servidor central e através da distribuição via internet, possibilitam a correção dos dados aos receptores móveis em tempo real através da RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS, que segundo esta mesma norma, apresentam como requisito disponibilidade de telefonia celular, perfeitamente disponibilizada no local deste trabalho, e a proximidade com estações da RBMC, que neste caso são a 93920 – CHPI em Cachoeira Paulista – SP, a 91537 – SJSP em São José dos Campos – SP, além da estação presente em Ubatuba – SP, 99550 – UBA1. Todas situadas próximas ao município de Taubaté - SP. Através deste método, dispensa-se o uso de um par de receptores de satélites (Base-Rover), apresentando rapidez e confiabilidade nos resultados. Os dados altimétricos obtidos já apresentam a altitude ortométrica necessária as análises comparativas. Salienta-se que a projeção UTM com o Datum SIRGAS 2000 para o fuso 23 Sul e Meridiano Central -45° foi adotada de imediato a captação dos dados com este método.



Figura 3 – Levantamento GNSS

De posse dos pontos em campo materializados e levantados com os métodos de obtenção altimétrica já descritos acima, um voo de RPA (*Remotely Piloted Aircraft System*), da marca Dji, modelo Phantom 4 Standard, câmera RGB de 12.4M, distância focal de 35 mm – f/2.8, com GNSS de navegação, sistema barométrico de obtenção de altitudes e rastreamento das constelações GPS e GLONASS, foi utilizado. Como prerrogativa inicial, foi pleiteado junto ao *Sistema para solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves não tripuladas (SARPAS)* do *Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)*, órgão vinculado à *Força Aérea Brasileira (FAB)* uma autorização de voo para a área em questão, em conformidade com a normativa ICA 100-40. Com o protocolo 75B271D5 e perfil de operação padrão, a autorização de voo foi aprovada para a janela da operação entre os dias 07/09/2023 e 10/09/2023 para os horários de 12:00 às 14:00. Após a aprovação do voo, um plano de voo foi estabelecido, abrangendo toda área de estudo, fazendo uso



Figura 4 – Voo de RPA

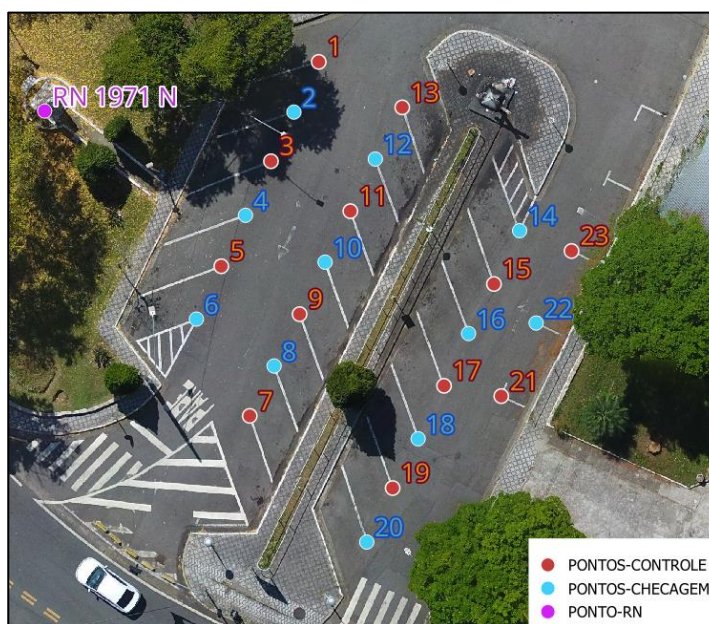
do Drone Deploy, aplicativo de planejamento de voos com RPA's amplamente usado por profissionais, devido a sua gratuidade e interface desenhada e incompleta. A altitude de voo foi determinada para 50 m, com recobrimento longitudinal de 75%, e de 80% para o recobrimento lateral. Optou-se por estabelecer a rota de voo da aeronave em grade, para que haja o máximo de sobreposição de imagens nos blocos e faixas, com projeção geográfica (latitude e longitude) no Datum WGS84 e elipsóide de referência GRS80. Após a captação das fotos aéreas, o processamento das imagens digitais se faz necessário para a geração dos ortomosaicos. Foi utilizado o software Agisoft PhotoScan

Professional, o qual através da transformação de coordenadas disponíveis neste software, converteu-se, primeiramente de Geográfica WGS84 para UTM SIRGAS 2000, Fuso 23° Sul para, enfim realizar a fusão das imagens produzindo um ortomosaico RGB (*Red, Green, Blue*), com as

cores do espectro do visível, e um *modelo digital de elevação* (DEM) sendo este um subproduto derivado, o qual contém os dados de altimetria captados no sobrevoo, mantendo a mesma estrutural posicional. Destaca-se que este conjunto de ortomosaicos gerados, neste primeiro produto, não passou por um processo de georreferenciamento com pontos de controle, justaposto a apresentar os dados fornecidos pelo RPA no modo navegação do GNSS embarcado, com a finalidade de aferir, frente aos outros métodos de obtenção altimétrica, o quão dispares são os resultados obtidos deste modo.

Com as referidas ortofotos obtidas com o aerolevanteamento, um novo ortomosaico foi gerado, porém sendo georreferenciado com os pontos obtidos pelo método GNSS com o receptor EMLID Reach RS2+ adotados neste trabalho. Fez-se uso de 12 pontos de controle para o processo de georreferenciamento das imagens, tendo como projeção UTM e Datum SIRGAS 2000, fuso 23° Sul e MD -45°. Deste modo, através do software Agisoft Photoscan Professional, um processo de apontamento de cada ponto de coordenada nas imagens aéreas nos locais foto identificáveis, marcados com tinta sobre as faixas brancas do estacionamento, foi realizado, garantindo assim, os 12 alvos de parâmetros ao georreferenciamento do ortomosaico RGB, assim como ao modelo digital de elevação (DEM), que entregaram como resultado a visualização aérea ajustada com as coordenadas adotadas e passíveis de identificação geográfica a todos os pontos de interesse, independentemente de sua coordenadas seja previamente conhecida ou não. Com os 12 pontos restantes, instituiu-se os pontos de checagem, que serviram como critério comparativo frente aos métodos dispostos neste trabalho.

Figura 5 – Área de estudo com a RN 1971 N, pontos de controle e checagem



No ambiente SIG (*Sistema de Informação Geográfica*), especificamente no software livre Quantum Gis (QGIS), versão desktop 3.30.1, foi feita a compilação dos dados a fim de garantir uma visão espacial e um suporte tabular dos dados levantados. Adotou-se a projeção UTM com Datum Sirgas 2000 para o fuso 23 Sul e Meridiano Central – 45. O mesmo sistema de coordenadas optado para a coleta de informações com o GNSS RTK em campo e para a geração dos ortomosaicos do sobrevoo de RPA. Os 24 pontos foram criados, como camada de pontos no SIG, com as

informações providas do GNSS RTK, a fim de disponibilizar os dados em tabelas e conferir a proximidade posicional com o primeiro ortomosaico RGB gerado a partir do levantamento do RPA. Mesmo não havendo georreferenciamento do ortomosaico, e esperando-se a apresentação de um deslocamento, conforme Júnior, A., A., M., et al, (2021), a proximidade dos elementos é englobante à área de estudo. Outra camada com 24 pontos foi criada com o objetivo de alocar as informações provenientes do Modelo Digital de Elevação (DEM), para tanto utilizou-se a ferramenta do SIG, *Amostragem de Valor Raster*, de modo a prover os pontos criados com os dados altimétricos oriundos do DEM em forma de dados tabulares. Já para o ortomosaico e o modelo digital de elevação georreferenciado, criou-se uma camada com 12 pontos nos locais antagônicos aos pontos de controle, ou seja, justapostos aos pontos destinados à checagem, fazendo-se uso da ferramenta *Amostragem de Valor Raster*, fidelizando-os às marcações foto identificáveis a fim de garantir os dados altimétricos providos do DEM, fidedignos aos locais de referência. Com estes dados, o comparativo com os pontos de checagem oriundos do GNSS RTK-NTRIP é possível, possibilitando o prosseguimento às determinações analíticas esperadas. Optou-se pela utilização de pontos de controle e checagem, devido ao fato de que a apresentação de um comparativo somente poderia ser indicada, neste ortomosaico georreferenciado, por pontos não utilizados no processamento das imagens. Justamente para apresentar as eventuais discrepâncias nesse processo, a utilização dos 12 pontos de checagem, portanto, fornecem os indicativos necessários à investigação deste trabalho.

Com as informações organizadas e verificadas, estruturou-se as colunas bases para as informações do GNSS RTK NTRIP, Nivelamento Geométrico, Ortomosaico e Ortomosaico georreferenciado todas; contendo suas respectivas altitudes. De interesse ao estudo, as observâncias comparativas dos dados foram calculadas por formulações dispostas no Excel, obtendo o desvio padrão das medidas para representar o grau de dispersão de um conjunto de valores necessários as análises.

3. Resultados

De posse dos dados altimétricos dos 24 pontos abrangentes a área de estudo, um comparativo foi estabelecido. O intuito principal é apontar as divergências que cada método apresenta, isto é válido tendo em vista que cada técnica de obtenção altimétrica possui suas especificidades, que variam conforme o tempo de execução, necessidade de cálculos e/ou processamento de digital de imagens posteriores, assim como intempéries. Para em seguida indicar os usos dos métodos as situações correlatas às situações de trabalho do dia a dia.

Salienta-se que os dados planimétricos, sendo as coordenadas Este e Norte, foram captadas através do receptor GNSS-RTK nos pontos partilhados, porém não foram submetidas à análise. Isto se deve ao foco deste trabalho proposto, todavia os pontos materializados com pinos e tinta, usados tanto para o nivelamento geométrico quanto ao demais métodos, serviram de referencial posicional para que os comparativos altimétricos fossem justapostos uns aos outros. O sobrevoo com RPA, seu sistema interno de captação de coordenadas, via GNSS de navegação, apresenta discrepância posicional em relação aos dados de GNSS RTK, e, portanto, deve indicar os resultados pertinentes as suas limitações tecnológicas, mantendo assim o foco da elucidação comparativa entre os métodos. Adotou-se como parâmetro o nivelamento geométrico apoiado na RN 1971 N do IBGE como dado mais confiável, isto baseia-se na Norma ABNT 13133, a qual

estabelece para aceitação relativa à altimetria do levantamento topográfico o critério a partir das discrepâncias altimétricas, com relação aos deslocamentos entre as altitudes obtidas nas representações, de pontos perfeitamente identificáveis no terreno, obtidos por nivelamento geométrico, trigonométrico ou GNSS, apoiados nas referências de nível existentes na área do levantamento, por um método de precisão igual ou superior. (Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico – Procedimento, 2021).

O método 1, nivelamento geométrico composto, realizou-se duas estações de visada, E1 e E2, com Ré inicial na RN (Referência de Nível) 1971 N do IBGE a partir de E1. A altitude na RN é de 576,3003 metros com desvio padrão de 0,066 metros. Deste ponto E1, visou-se 8 pontos com vante de mudança no ponto 9. Do E2 com Ré no ponto 9 visou-se os 15 pontos restantes. Prezou-se por realizar o contranivelamento, conforme estabelece a NORMA ABNT 13133, quando à existência da RN oficial, partindo de E2 para vante de mudança no ponto 9, deste para E1, e de E1 para a vante na RN do IBGE. Chegando em uma altitude de 576,3012 metros, ou seja, uma diferença de 0,0009 metros de fechamento do nivelamento.

Tabela 1 – Coordenadas Este, Norte (GNSS) e altitudes dos 23 pontos do nivelamento geométrico

Pontos	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (m)			Pontos	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (m)		
	Este	Norte	Altitude		Este	Norte	Altitude
1	443460,813	7454048,844	577,5926	13	443466,061	7454045,988	577,4409
2	443459,256	7454045,692	577,125	14	443473,436	7454038,245	576,9212
3	443457,813	7454042,605	576,65	15	443471,823	7454034,897	576,4196
4	443456,212	7454039,211	576,1255	16	443470,227	7454031,786	575,9211
5	443454,692	7454036,012	575,6124	17	443468,687	7454028,504	575,4148
6	443453,129	7454032,693	575,0453	18	443467,06	7454025,175	574,8815
7	443456,48	7454026,614	574,4793	19	443465,459	7454022,084	574,3389
8	443458,01	7454029,748	574,9528	20	443463,832	7454018,693	573,7015
9	443459,611	7454033,003	575,4671	21	443472,282	7454027,857	575,4679
10	443461,213	7454036,267	575,9659	22	443474,474	7454032,446	576,26
11	443462,799	7454039,47	576,4759	23	443476,697	7454036,968	577,0366
12	443464,37	7454042,742	576,9686	RN	443443,594	7454045,759	576,3012

O método 2, se deu com a coleta dos dados com receptor de satélite EMLID Reach RS2+ em modo RTK – NTRIP. Aproximadamente 30 satélites foram rastreados com solução fixa para todos os 23 pontos, mais a posição da RN 1971 N do IBGE. Abaixo tabela indicativa contendo a altitude de cada ponto, além da coluna do nivelamento geométrico e suas respectivas altitudes:

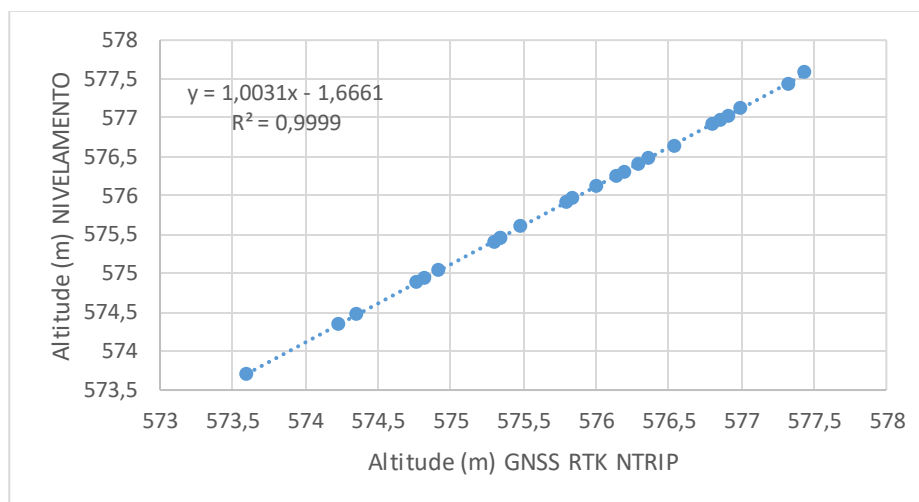
Tabela 2 – Altitudes do nivelamento geométrico e do GNSS RTK-NTRIP

Pontos	NIVELAMENTO (m)	GNSS	Pontos	NIVELAMENTO (m)	GNSS
1	577,5926	577,4440	13	577,4409	577,3270
2	577,125	576,9950	14	576,9212	576,8090
3	576,65	576,5400	15	576,4196	576,3010
4	576,1255	576,0120	16	575,9211	575,8040
5	575,6124	575,4900	17	575,4148	575,3030
6	575,0453	574,9220	18	574,8815	574,7710

7	574,4793	574,3540	19	574,3389	574,2360
8	574,9528	574,8300	20	573,7015	573,5990
9	575,4671	575,3500	21	575,4679	575,3430
10	575,9659	575,8440	22	576,26	576,1400
11	576,4759	576,3670	23	577,0366	576,9190
12	576,9686	576,8550	RN	576,3012	576,2000

Com fins de melhor entendimento entre o nivelamento geométrico e GNSS RTK – NTRIP, institui-se uma equação de regressão linear através de um gráfico de dispersão para verificar a correlação entre os métodos, o qual observa-se abaixo:

Gráfico 1 – Gráfico de dispersão altitude GNSS x altitude nivelamento



Obteve-se a equação $y = 1,0031x + 1,6661$, uma correlação positiva e um grau de correlação forte. Desta forma, têm-se através da equação obtida um indicativo de constância e previsibilidade para os dados a serem adquiridos com GNSS RTK – NTRIP,

Nota-se que a diferença altimétrica encontrada para a RN oficial do IBGE é de 0,1003 metros. Em média temos para o nivelamento geométrico 575,940 metros, e para o GNSS RTK – NTRIP 575,823; portanto, uma diferença de 0,117 metros. O desvio padrão para o nivelamento geométrico é de 1,028 e para o GNSS 1,025.

Para o método 3, um voo de RPA ocorreu às 13:00 do dia 09/09/2023, um dia de sol sem obstruções em que houve aproximadamente 12 satélites rastreados. Obteve-se 0,020 metros de resolução para o RGB e 0,043 metros para o Modelo Digital de Elevação. Um primeiro ortomosaico foi gerado, disposto abaixo, contendo apenas os dados do próprio GNSS do RPA Phantom 4 Standard como critério.

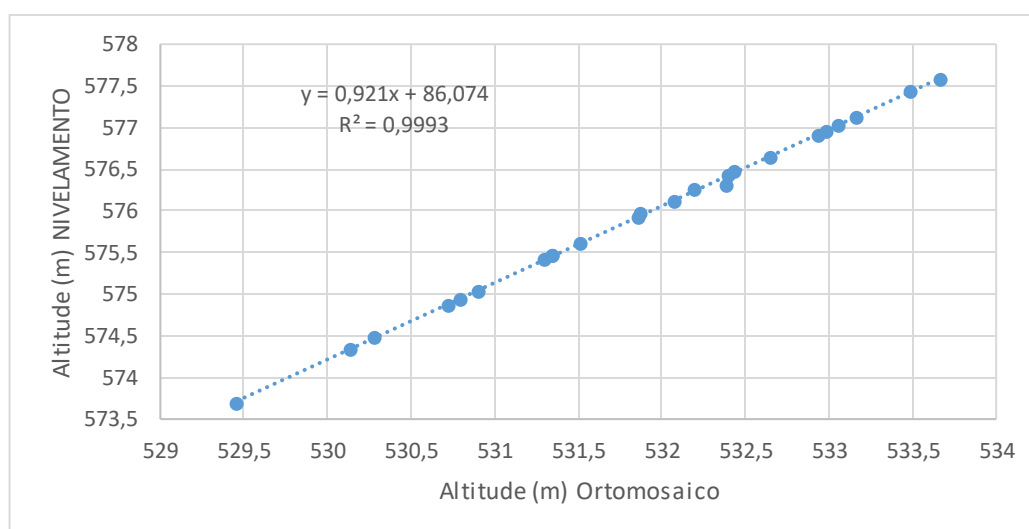
Objetivou-se analisar o quão diferente é os resultados alcançados em comparação ao nivelamento geométrico apoiado na RN oficial do IBGE. Ressalta-se que o GNSS deste RPA é do tipo absoluto, com fins de navegação, sem qualquer base de correção dos dados de coordenadas.

Tabela 3 – Altitudes do nivelamento geométrico e do ortomosaico

Pontos	NIVELAMENTO (m)	ORTOMOSAICO (m)	Pontos	NIVELAMENTO (m)	ORTOMOSAICO (m)
1	577,5926	533,6640	13	577,4409	533,4880
2	577,125	533,1650	14	576,9212	532,9290
3	576,65	532,6420	15	576,4196	532,3920
4	576,1255	532,0730	16	575,9211	531,8590
5	575,6124	531,5160	17	575,4148	531,2910
6	575,0453	530,9040	18	574,8815	530,7230
7	574,4793	530,2810	19	574,3389	530,1350
8	574,9528	530,7930	20	573,7015	529,4580
9	575,4671	531,3390	21	575,4679	531,3370
10	575,9659	531,8730	22	576,26	532,1960
11	576,4759	532,4300	23	577,0366	533,0530
12	576,9686	532,9860	RN	576,3012	532,3890

Com um grau de correlação forte de 0,9993 entre os dados e correlação positiva, têm-se a equação $y = 0,921x + 86,074$, conforme gráfico de dispersão abaixo:

Gráfico 2 – Gráfico de dispersão altitude ortomosaico x altitude nivelamento



A média das altitudes dos 23 pontos mais a RN do IBGE para o sobrevoo de RPA no local é de 531,871 metros e desvio padrão de 1,114 metros, para o nivelamento têm-se para os mesmos pontos 575,940 metros e desvio padrão de 1,028 metros, chegando-se a uma diferença de 44,069 metros.

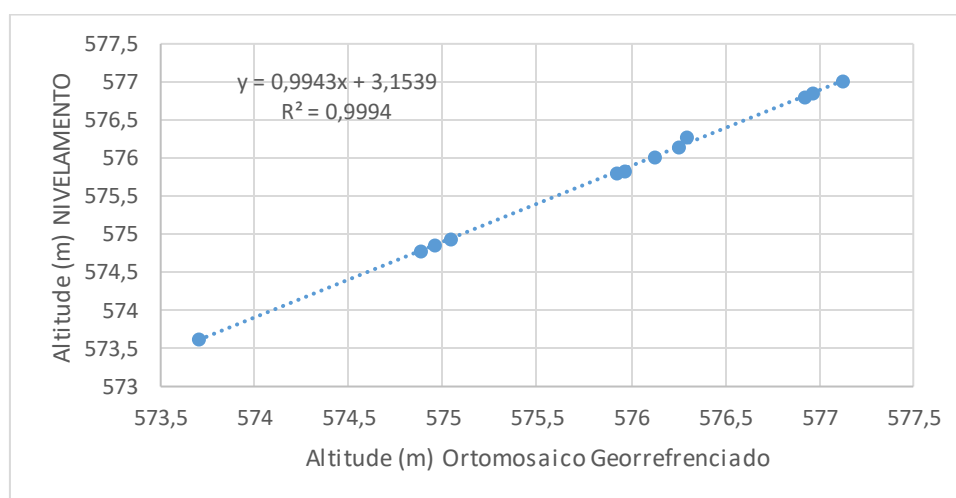
O quarto método, um ortomosaico derivado do mesmo voo de RPA, acontecido às 13:00 do dia 09/09/2023 e com os mesmos parâmetros fotogramétricos já descritos, porém adotou-se 12 pontos de controle no processamento digital das imagens, e para fins de confrontação dos dados, os outros 12 pontos altimétricos foram considerados como pontos de checagem, o qual seguem apontados na tabela abaixo:

Tabela 4 – Altitudes do nivelamento geométrico e do ortomosaico georreferenciado

Pontos	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO (m)	ORTOMOSAICO GEORREFERENCIADO (m)
	Altitude	Altitude
2	577,125	577,0156
4	576,1255	576,0151
6	575,0453	574,9380
8	574,9528	574,8458
10	575,9659	575,8354
12	576,9686	576,8560
14	576,9212	576,8089
16	575,9211	575,8099
18	574,8815	574,7872
20	573,7015	573,6240
22	576,26	576,1433
RN	576,3012	576,2680

Chegou-se a um grau de correlação positiva e forte, conforme gráfico de dispersão abaixo.

Gráfico 3 – Gráfico de dispersão altitude ortomosaico georreferenciado x altitude nivelamento



A média das altitudes do ortomosaico georreferenciado ficou em 575,745 m com desvio padrão de 1,016 m. Em comparação com o nivelamento geométrico, uma diferença de 0,195 metros foi alcançada. Porém, deve-se considerar os erros oriundos do processamento digital das imagens obtidos do relatório do software Agisoft Photoscan, para a altimetria (Z erro cm) tem-se 1,482 cm, para um total de 12 pontos.

4. Discussão

Com base nos resultados encontrados, o relevante é considerar a variação nos dados descobertos, observando que métodos diversos apresentam informações distintas. Isto dentro de

uma margem de tolerância, não discrepante ao ponto de os dados amostrados fugirem da razoabilidade e de sua localização geográfica aproximada.

Sendo o nivelamento geométrico, o dado altimétrico mais confiável, dos 24 pontos, teve 575,940 metros de média e 1,028 metros de desvio padrão. Apresentando como parâmetro geral altimétrico a RN 1971 N para todos os outros métodos. O fechamento do duplo nivelamento em 0,0009 m, corresponde a um transporte de altitudes aos pontos de interesse de alta precisão, conforme a ABNT 13133. Temos um desvio padrão de 1,028 m que apresenta uma distribuição significativa para a média calculada. Isto é útil para a confiabilidade dos dados a relacionar, tendo em vista que busca-se um comparativo entre os métodos e não o estabelecimento de análise ponto a ponto. Para este método indica-se trabalhos que exijam alta precisão, como obras civis e monitoramentos de recalques em estradas, dentre outros.

Para o altimetria obtida com o GNSS RTK NTRIP, já com a correção dos dados via protocolo de Internet, têm-se 575,823 m de média com desvio padrão de 1,025 m. Exprimindo uma diferença de 0,117 metros com o nivelamento geométrico, sinalizando que a correção das coordenadas via protocolo NTRIP do IBGE apresenta variações nos resultados quando comparados um método de obtenção topográfico com um de satélites orbitais. Sendo um dos métodos mais ágeis e de simples operação, pode ser aplicado em levantamentos gerais e ao apoio geodésico, deste que considerado seus parâmetros restritivos, em locais que não há uma referência de nível oficial.

O sobrevoo de RPA contendo apenas os dados do GNSS absoluto, sem correção, apresentaram dados altimétricos significativamente distintos, chegou-se a 44,068 metros de diferença comparados ao nivelamento geométrico. O desvio padrão de 1,116 metros mostra a dispersão encontrada para a média dos pontos para o ortomosaico. Ressalta-se, que a aeronave empregada possui como referencial altimétrico um sistema barométrico que se baseia em pressões atmosféricas para adoção de altitude em seus resultados. Apesar da previsibilidade indicada na equação de regressão linear e seu grau de correlação forte positiva, seu uso é contraindicado para trabalhos que necessitem de altimetria como dado preponderante, a sua variação altimétrica para cada ponto apresenta o perfil geográfico do local, bastando-se como percepção visual.

Quanto ao Ortomosaico Georreferenciado, derivado do mesmo sobrevoo de RPA, com 12 pontos de controles, têm-se, conforme o relatório do processamento digital das imagens, 0,0148 m de erro, isto deve ser considerado e acrescido para a empregabilidade deste método, com seus 0,195 m de diferença frente ao nivelamento geométrico. Neste cenário, também foi alcançado um grau de correlação forte e positiva, contudo, é importante que as condições atmosféricas, o número de satélites rastreados e a possibilidade de obstruções aos sinais sejam semelhantes para a reprodução bem-sucedida da metodologia empregada. Abaixo, segue um quadro resumo dos resultados elencados neste trabalho:

Tabela 5 – Resultados compilados das altitudes encontradas.

Pontos	GNSS	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	ORTOMOSAICO AEROFOTOGRAFAMÉTRICO	ORTOMOSAICO AEROFOTOGRAFAMÉTRICO GEORREFERENCIADO
--------	------	---------------------------	-------------------------------------	---

	Altitude	Altitude	Altitude	Altitude
1	577,444	577,5926	533,664	
2	576,995	577,125	533,165	577,016
3	576,54	576,65	532,642	
4	576,012	576,1255	532,073	576,015
5	575,49	575,6124	531,516	
6	574,922	575,0453	530,904	574,938
7	574,354	574,4793	530,281	
8	574,83	574,9528	530,793	574,846
9	575,35	575,4671	531,339	
10	575,844	575,9659	531,873	575,835
11	576,367	576,4759	532,43	
12	576,855	576,9686	532,986	576,856
13	577,327	577,4409	533,488	
14	576,809	576,9212	532,929	576,809
15	576,301	576,4196	532,392	
16	575,804	575,9211	531,859	575,810
17	575,303	575,4148	531,291	
18	574,771	574,8815	530,723	574,787
19	574,236	574,3389	530,135	
20	573,599	573,7015	529,458	573,624
21	575,343	575,4679	531,337	
22	576,14	576,26	532,196	576,143
23	576,919	577,0366	533,053	
RN	576,2	576,3012	532,389	576,268

Média =	575,823	575,940	531,872	575,746
---------	---------	---------	---------	---------

D. Padrão =	1,025	1,028	1,116	1,017
-------------	-------	-------	-------	-------

Justapondo as operações com RPA e GNSS, deve se considerar que estas dependem intrinsecamente das intempéries para garantir de bons resultados, podendo apresentar certas limitações e dados pouco precisos. Quanto ao nivelamento geométrico, prega-se as boas práticas de operação, equipamento certificado e calibrado para a reprodução dos resultados. Uma série amostral em diversas datas e condições valida conjunturas de novos estudos sobre o tema.

5. Conclusão

É estritamente necessário, frente as exigências de se apoiar em dados confiáveis, permear-se em estudos que demonstrem resultados comparativos entre métodos distintos. Aparentemente, alguma variação numérica pode indicar pouca relevância, mas de modo algum deve-se justificar uma variabilidade como indiferença a se considerar, tendo em vista que no âmbito das medições topográficas, as informações que não apresentem bons indicativos de precisão e acurácia são relegadas à depreciação e recomendados a levantamentos expeditos, sendo que discrepâncias nos dados incitam a erros que comprometem todo um trabalho, levando a consequências indesejadas, como erros grosseiros e sistemáticos, onde podem apresentar acumulação ao longo de todo levantamento e chegar-se a resultados desconhecidos com o planejado.

Salienta-se que as análises dos dados utilizados estão no mesmo sistema de medidas, metros, sendo que se tratam de variáveis quantitativas contínuas, isto nos dá a condição de estabelecer o desvio padrão da média como ferramenta estatística para interpretação dos dados. Conforme encontrado, ressalta-se a importância de averiguar “Quais as variações da acurácia de dados altimétricos obtidos por métodos geotecnológicos diversos comparados a um nivelamento geométrico apoiado em uma referência de nível (RN) oficial do IBGE?”. De uma série de trabalhos em campo, como piquetagem e marcação de pontos em campo, contando com cálculos de fechamento de nivelamento, operação com GNSS-RTK NTRIP e voos de RPA, passando à análise de dados em escritórios e à obtenção de parâmetros comparativos. Revelou-se a variação nos métodos de obtenção altimétrica frente os objetivos propostos a este trabalho.

Portanto, considerando como parâmetro o nivelamento geométrico e sua média mais desvio padrão para os 24 pontos, tem-se com o uso de GNSS RTK – NTRIP uma diferença entre as médias e desvio padrão de 11 cm de discrepância com o nivelamento, já com a média dos 12 pontos de checagem mais desvio padrão do ortomosaico georreferenciado, 20,9 cm de diferença e o ortomosaico sem correção, 44,069 m de diferença com o nivelamento geométrico.

Com estes dados, fica possível a diretriz aos que se encarregam do trabalho técnico de coletar informações altimétricas. Posiciona-se com este artigo uma contribuição aos estudos existentes sobre o tema e espera-se cooperar com estudos futuros, que podem decorrer sobre a possível variância nos resultados em uma área de maior extensão e com uma diferença altimétrica maior no relevo do que o disposto nesse trabalho. É importante destacar que o emprego de dados altimétricos deve ser adaptado às particularidades de cada projeto. Não é apropriado destacar a utilidade prática de um dado que tenha demonstrado grande disparidade nos resultados, mas sim empregá-lo de maneira adequada em serviços que atendam às condições suficientes e necessárias.

Agradecimentos

À FATEC Jacareí pela oportunidade de expansão do conhecimento, e em especial ao corpo docente pelo apoio e incentivo.

Referências

Comastri, J. A.; Tuler, J. C. Topografia; Altimetria, 3.ed., Viçosa: UFV, 2005.

D Silva, I.; Segantine, P., C., L. Topografia para Engenharia, Teoria e Prática de Geomática, 1. ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

Borges, A., C. Topografia Aplicada à Engenharia Civil, 3. ed., São Paulo: Blucher, 2013.

Monico, J., F., G.; Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações, 2.ed., São Paulo: Editora Unesp, 2008.

Paredes, E. A.; Práticas aerofotogramétricas e suas aplicações na engenharia, Brasília: CNPq; CONCITEC, 1986.

Rodrigues, R.C.; Análise e tematização da imagem fotográfica; Mestrando em Ciência da Informação; Universidade de Brasília, 2007.

Júnior, A., A., M.; Nascimento, M., H.; Carmo, M., A.; Correção de Discrepâncias de Coordenadas UTM obtidas por Aparelhos de GNSS de Navegação e Google Earth em Levantamentos Planimétricos, IX Seminário de Iniciação Científica IFMG, Bambuí, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13133; Execução de Levantamento Topográfico – Procedimento. Rio de Janeiro, p. 2; p.3; p.4; p. 19; p.20; p.25. 2021

Departamento de Controle do Espaço Aéreo. ICA 100-40; Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, Brasília, p. 39; 2023.

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2º Edição, Brasília, p. 39; 2022.

Botelho, M., H., C.; Júnior, J., P., F.; De Paula, L., S.; ABC da Topografia para Tecnólogos, arquitetos e engenheiros, São Paulo, p.138; Blucher, 2018.

Fitz, P., R.; Cartografia Básica, São Paulo, p.107, Editora Oficina de Textos, 2008.

Formaggio, A., R.; Sanches, I., D.; Sensoriamento Remoto em Agricultura, São Paulo, p. 215; Oficina de Textos, 2017.

Rosa, R.; Introdução ao Sensoriamento Remoto, Uberlândia, p.197; EDUFU, 2009.

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=o-que-e>

Acesso: 01/10/2023.

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?=&t=o-que-e>

Acesso: 01/10/2023.