

Análise comparativa entre métodos de determinação de desníveis: Nivelamento geométrico e posicionamento em tempo real (RTK)

Zuleide Alves Ferreira⁽¹⁾,
Jonathas Pereira Rabêlo⁽²⁾,
Lucas Elias Oliveira Borges⁽³⁾,
Matheus Gabriel Barbosa Cunha Gomes⁽⁴⁾ e
Gustavo Marra Carrilho de Castro⁽⁵⁾

Data de submissão: 20/2/2019. Data de aprovação: 17/4/2019.

Resumo – A altitude de um local consiste na distância vertical entre determinado ponto na superfície terrestre e o nível médio dos mares, podendo ser determinada por diversos métodos. Devido ao uso crescente de novas tecnologias relacionadas ao Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*) na determinação da posição geográfica, inclusive para a determinação de altitudes, este trabalho tem como principal objetivo comparar dados obtidos através de nivelamento geométrico e de posicionamento em tempo real (*Real Time Kinematic - RTK*). O trabalho de campo foi realizado na cidade de Palmas – TO, onde para o levantamento executado pelo método RTK foram utilizados dois pares de receptores GNSS modelo Hiper II da fabricante Topcon, e para o nivelamento geométrico, foi utilizado um nível digital modelo Sprinter 250M da fabricante Leica Geosystems. Após o nivelamento e contranivelamento dos pontos, foi identificado erro altimétrico de 4 milímetros. Comparando-se os resultados obtidos, foi possível verificar que a média das diferenças entre as altitudes obtidas pelos dois métodos foi de 10 milímetros, sendo o desvio padrão dessas diferenças igual a 5 milímetros, caracterizando a amplitude amostral entre altitudes de apenas 21 milímetros. Deste modo, os resultados demonstram que a determinação da altitude pelo posicionamento em tempo real (RTK) apresentou precisão satisfatória atendendo adequadamente à maioria das necessidades da topografia, constatando-se rapidez e eficiência do método RTK também para determinação de desníveis.

Palavras-chave: Altitude ortométrica. Nível digital. Topografia. GNSS.

Comparative analysis between methods of determining gradients: Geometric leveling and real-time positioning (RTK)

Abstract – The altitude of a site is the vertical distance between a point on the land surface and the average level of the seas, which can be determined by several methods. Due to the increased use of new technologies related to the Global Navigation Satellite System (GNSS) to determine the geographical position, including to determine altitudes, this paper has as main objective to compare the data obtained through geometric leveling and real-time kinematic (RTK) positioning. The field work was carried out in the city of Palmas - TO, where for the survey executed by the RTK method, two pairs of GNSS receivers Hiper II from the manufacturer Topcon were used, and for the geometric leveling, the digital level model Sprinter 250M from

¹ Graduada em Agrimensura, mestra em Ciências do Ambiente pela UFT. Professora do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. *zuleide@ifto.edu.br

² Engenheiro de Minas, técnico em Agropecuária e técnico em Agrimensura pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. *jonathas.rabelo@ifto.edu.br

³ Discente do curso técnico em Agrimensura do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. *lucaseliasborges@outlook.com

⁴ Discente do curso técnico em Agrimensura do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. *matheusgargamel@hotmail.com

⁵ Discente do curso técnico em Agrimensura do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. *gmarra370@gmail.com

the manufacturer Leica Geosystems was used. After leveling and counter-leveling of the points, an altimetric error of 4 millimeters was identified. Comparing the obtained results, it was possible to verify that the average of the differences between the altitudes obtained by the two methods was 10 millimeters, being the standard deviation of these differences equal to 5 millimeters, characterizing the sample amplitude between altitudes of only 21 millimeters. In this way, the results demonstrate that the determination of the altitude by the RTK method presented a satisfactory accuracy and adequately meets most of the topography needs, verifying the speed and efficiency of the RTK method also for the determination of level differences.

Keywords: Orthometric altitude. Digital level. Topography. GNSS.

Introdução

A altitude de um local consiste na distância vertical entre determinado ponto na superfície terrestre e o nível médio dos mares podendo ser determinada por diversos métodos. Em virtude da alta precisão apresentada, o nivelamento geométrico é um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para determinação de desníveis. Contudo, devido à disseminação de novas tecnologias relacionadas ao Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*), pode-se constatar o uso crescente dessas na determinação da posição geográfica, inclusive para o posicionamento vertical.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) disponibiliza referências de alta precisão para o posicionamento vertical, e essas estações, denominadas Referências de Nível (RRNN), foram estabelecidas ainda no ano de 1945 através do método de nivelamento geométrico. Contudo, visando garantir a integridade, a consistência e a confiabilidade das informações pertinentes ao Banco de Dados Geodésicos (BDG), as altitudes das RRNN são recalculadas periodicamente em razão da incorporação de novas linhas de nivelamento e também do desenvolvimento de novas técnicas de medição e processamento de dados. Além disso, atualmente estão sendo utilizadas estações GNSS de rastreamento contínuo vinculadas às respectivas redes verticais de cada país para a definição do Sistema Internacional de Referência para Altitudes (*IHRS, International Height Reference System*) com objetivo de substituir os referenciais locais e nacionais por sistemas definidos e realizados em âmbito global (IBGE, 2019).

Para Santos et al. (2013), a utilização de receptores GNSS apresenta adequada acurácia para determinação de dados relativos à altimetria. Ademais, quando comparado a outros métodos altimétricos convencionais, constatam-se benefícios como eficiência, rapidez e baixo custo.

Podendo o posicionamento geodésico pelo GNSS ser realizado através de diversos métodos, destacam-se entre eles o posicionamento relativo estático e o posicionamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic- RTK*). De acordo com Vitti et al. (2017), o método RTK proporciona maior rapidez e confiabilidade na determinação da posição geográfica e da altitude elipsoidal, sendo possível a obtenção do desnível geométrico de um alinhamento com referência ao geoide local.

Segundo Moreira (2003), os nivelamentos são necessários em muitas atividades de engenharia, como nivelamento de perfil para obras rodoviárias, saneamento, mineração e locação de fundações e superestruturas em edificações. Apesar da ampla utilização e precisão obtida, o nivelamento geométrico tradicional possui limitações como alto custo e tempo de execução, pois são necessários vários operadores e requer cuidados técnicos para evitar a ocorrência e a propagação de erros sistêmicos (CASTRO, 2002).

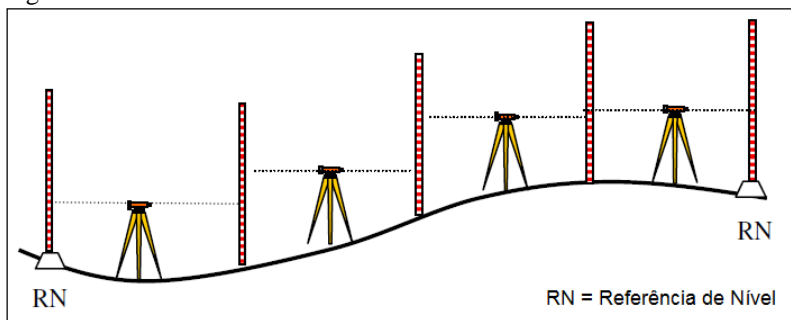
Diante o exposto, este trabalho teve como principal objetivo comparar dados de altitude e desníveis obtidos pelo método de nivelamento geométrico e pelo posicionamento cinemático em tempo real (RTK).

Principais métodos utilizados para a determinação de desníveis e altitude

De acordo com Gonçalves et al. (2012), existem diversos métodos que permitem a determinação de desníveis, como os nivelamentos geométricos, trigonométricos e barométricos. Ainda segundo os autores, dentre esses três tipos, o nivelamento geométrico representa o mais preciso, onde deve ser utilizado um equipamento denominado nível. Já para o nivelamento trigonométrico, utilizam-se estações totais e para o barométrico são utilizados barômetros, onde o desnível pode ser medido a partir da diferença de pressão entre os pontos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), o nivelamento geométrico determina a medida da diferença de nível entre pontos do terreno através de leituras correspondentes a visadas horizontais a partir da utilização de um nível e miras colocadas verticalmente nos referidos pontos (Figura 1).

Figura 1: Nivelamento Geométrico



Fonte: Veiga et al., 2012.

Os desníveis entre os pontos observados por meio de nivelamento geométrico de alta precisão permitem que as altitudes sejam obtidas com incerteza da ordem de poucos milímetros (IBGE, 2018). No entanto, de acordo com Moreira (2003), o nivelamento geométrico possibilita precisão da ordem de décimo de milímetros, e assim sendo, este é o método recomendado em trabalhos mais rigorosos como implantação de redes altimétricas de 1ª ordem e controles de obras. Devido aos fatores apresentados, o nivelamento geométrico foi o método escolhido para ser investigado neste trabalho.

Posicionamento pelo GNSS

O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) é composto por um conjunto de satélites que transmitem sinais precisos para o posicionamento geográfico e engloba o sistema americano GPS (*Global Positioning System*), o russo GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), o Galileo (União Européia), o Beidou/Compass (China), além dos sistemas de aumento WAAS (*Wide Area Augmentation System - EUA*), EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), o GAGAN (*GPS Aided Geo Augmented Navigation - Índia*) e o MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System - Japão*) (PINTO et al., 2013).

O posicionamento geodésico, realizado através de aparelhos receptores GNSS, pode ser realizado através de diversos métodos, inclusive pelo posicionamento relativo estático e pelo posicionamento em tempo real (RTK). No posicionamento relativo estático, dois ou mais receptores GNSS rastreiam satélites visíveis simultaneamente, por um período de no mínimo 20 minutos. Dessa forma, é possível a determinação de coordenadas tridimensionais precisas em qualquer ponto na superfície terrestre (MONICO, 2008).

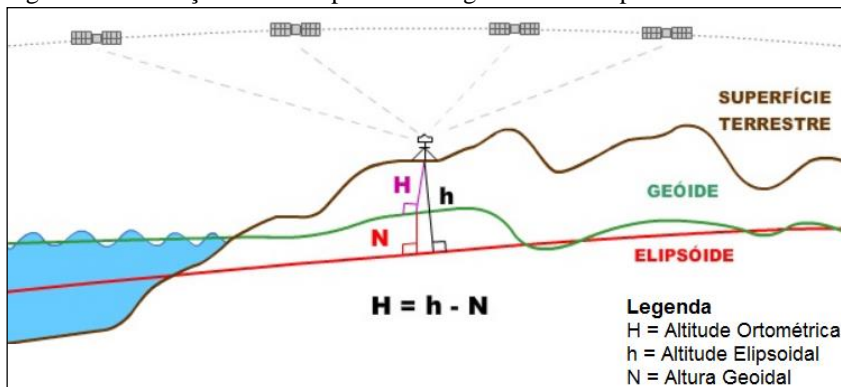
No posicionamento em tempo real, são necessários pelo menos dois receptores GNSS coletando dados simultaneamente, onde um dos receptores é denominado estação de referência (base) posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e o outro receptor (receptor móvel) realiza a coleta de dados nos pontos de interesse, possibilitando a determinação da posição em tempo real (BARBOSA et al., 2010).

De acordo com Oliveira (2017), visando a obtenção de correções instantâneas, o posicionamento cinemático em tempo real utiliza a tecnologia de navegação por satélites aliada a um rádio-modem ou a um telefone GSM (*Global System for Mobile Communications*), sem a necessidade de pós-processamento dos dados.

Determinação de altitude pelo GNSS

Os receptores GNSS também podem ser utilizados para a determinação de altitudes e/ou desníveis. Todavia, a altitude obtida neste caso está relacionada a um elipsoide de referência⁴ e não ao nível médio do mar (geoide). Portanto, torna-se necessário o cálculo da diferença entre as superfícies geoidal e elipsoidal conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2: Diferença entre as superfícies do geoide e do elipsoide



Fonte: IBGE, 2017a.

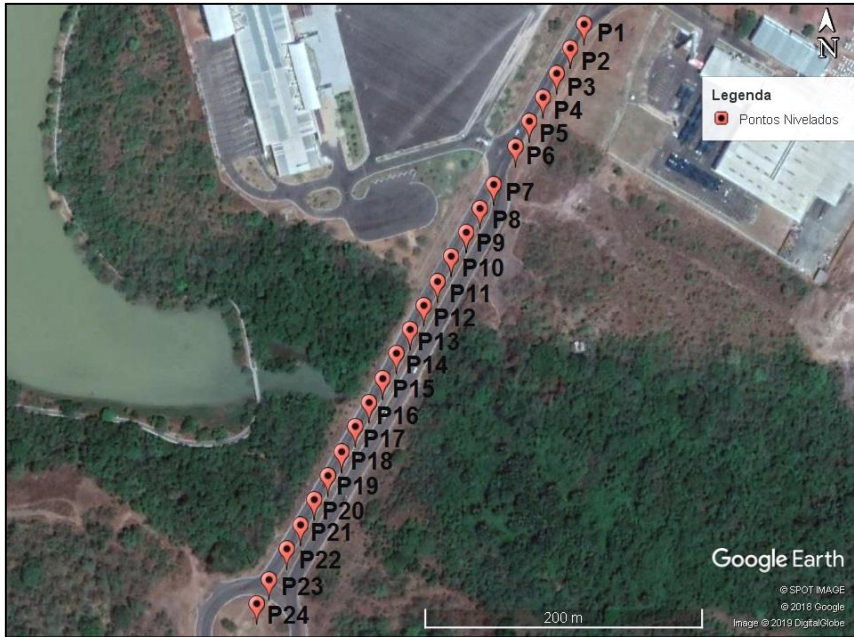
De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017b), o geoide coincide com a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra, ou seja, com o nível médio não perturbado dos mares. Além disso, a superfície geoidal tem um formato ondulatório irregular que acompanha as variações da estrutura de distribuição de massa da Terra. Logo, a diferença entre as superfícies do geoide e do elipsoide, denominada ondulação geoidal, permanece na média de 30 metros, sendo que o valor máximo desta diferença pode chegar a 100 metros, em relação ao elipsoide de referência.

Materiais e Métodos

O trabalho de campo foi realizado na Avenida NS-10, cidade de Palmas – TO, onde foi feito o estaqueamento de pontos a cada 20 metros, aproximadamente (Figura 3). Para o posicionamento geodésico (relativo estático e em tempo real - RTK) foram utilizados dois pares de receptores GNSS modelo Hiper II e coletora FC-2500, ambos da fabricante Topcon. Para o nivelamento geométrico, foi utilizado um nível digital modelo Sprinter 250M e mira com código de barras da marca Leica Geosystems.

Figura 3: Pontos nivelados

⁴ "Figura geométrica tridimensional, de representação matemática simples, formada pela revolução de uma elipse em torno do eixo menor. Este é o modelo mais utilizado como superfície de referência geodésica, embora em circunstâncias especiais possa ser utilizado um elipsoide triaxial" (APRH, 2019).



Fonte: *Google Earth*, 2018.

No total, foram ocupados 24 pontos. Primeiramente, foi realizada a ocupação da base no ponto P1, através do método de posicionamento relativo estático, por um período de rastreamento de aproximadamente 3 horas e 30 minutos. Para o processamento dos dados da base foi utilizado o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE através do *software Topcon Tools*. Em seguida, foi realizado o levantamento dos demais pontos pelo método RTK, utilizando como referência as coordenadas tridimensionais do ponto de base (P1) obtidas pelo posicionamento relativo estático.

Visando a comparação dos dados obtidos, foi necessário converter a altitude elipsoidal obtida a partir do posicionamento relativo estático em altitude ortométrica. Para esta conversão foi necessário o cálculo da diferença entre as superfícies do geoide e do elipsoide (ondulação geoidal) através do *software MAPGEO2015*, desenvolvido pelo IBGE em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (IBGE, 2017a).

Resultados e Discussões

Para o nivelamento e contranivelamento dos pontos, foi atribuída a altitude inicial (ortométrica) de 258,340 metros para o ponto P1, a qual foi obtida anteriormente pelo método de posicionamento relativo estático. Após o contranivelamento, a altitude de chegada encontrada para o mesmo ponto foi de 258,336 metros, indicando um erro altimétrico de 4 milímetros. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), a tolerância de fechamento para nivelamento geométrico de linhas ou circuitos e seções para níveis de alta precisão é de $12 \text{ mm}\sqrt{K}$, sendo K igual à distância nivelada em quilômetros. Sendo a distância nivelada correspondente a 476,29 metros, o erro permitido seria de até 8,3 milímetros. Neste sentido, foi identificado erro equivalente a 4 milímetros no levantamento, caracterizando o nivelamento realizado neste trabalho como de alta precisão.

Após a etapa de nivelamento, foi realizado o comparativo entre os valores de altitude obtidos pelos métodos de nivelamento geométrico e posicionamento em tempo real (RTK). Conforme demonstra a Figura 4, pode-se observar que as superfícies obtidas pelos dois métodos se sobrepõem no perfil longitudinal. A Tabela 1 e Gráfico 1 apresentam detalhamento dos resultados encontrados.

Figura 4: Perfil longitudinal com exagero vertical de 10 vezes gerado através do *software Topograph 98 SE*

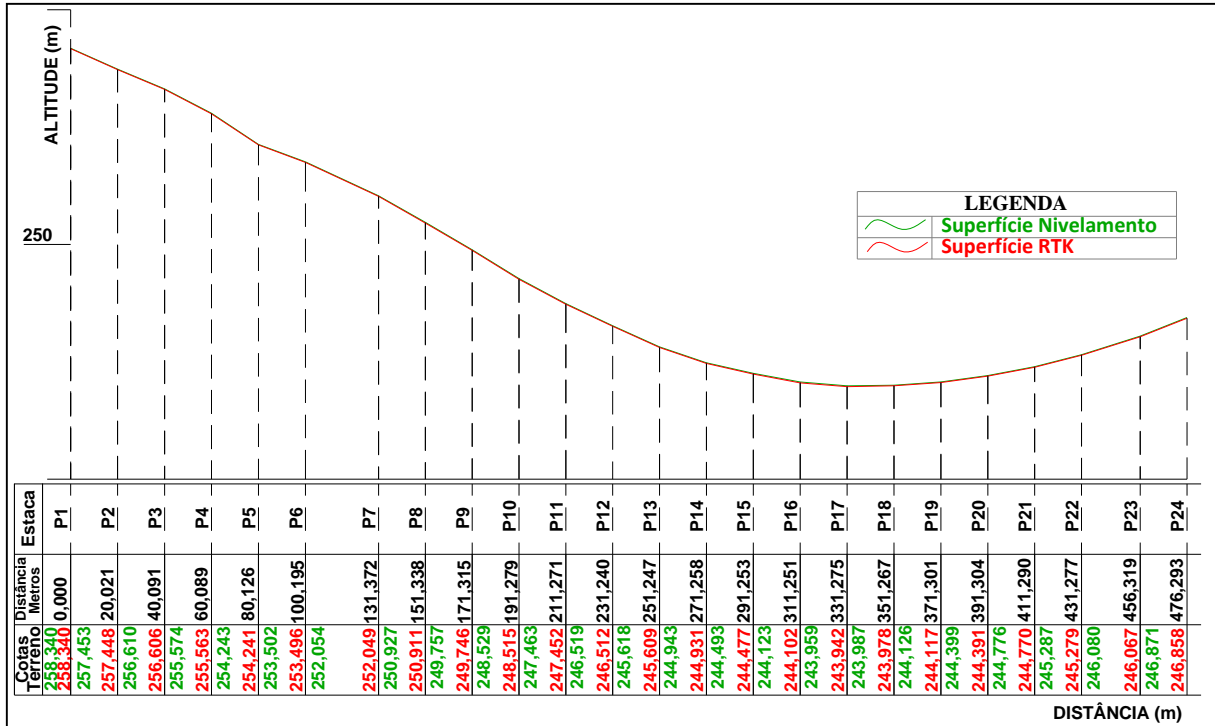
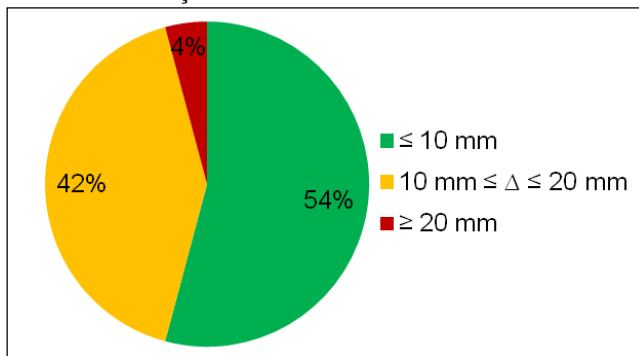


Tabela 1: Variação entre altitudes RTK x Nível

Ponto	Altitude		Diferença entre as altitudes (m)
	Nível	RTK	
P1	258,340	258,340	0,000
P2	257,453	257,448	0,005
P3	256,610	256,606	0,004
P4	255,574	255,563	0,011
P5	254,243	254,241	0,002
P6	253,502	253,496	0,006
P7	252,049	252,049	0,005
P8	250,927	250,911	0,016
P9	249,757	249,746	0,011
P10	248,529	248,515	0,014
P11	247,463	247,452	0,011
P12	246,519	246,512	0,007
P13	245,618	245,609	0,009
P14	244,943	244,931	0,012
P15	244,493	244,477	0,016
P16	244,123	244,102	0,021
P17	243,959	243,942	0,017
P18	243,987	243,978	0,009
P19	244,126	244,117	0,009
P20	244,399	244,391	0,008
P21	244,776	244,770	0,006
P22	245,287	245,279	0,008
P23	246,080	246,067	0,013
P24	246,871	246,858	0,013
Média			0,010
Desvio Padrão Amostral			0,005
Amplitude Amostral			0,021

Gráfico 1: Variação entre altitudes RTK x Nível



Analisando os resultados encontrados é possível constatar que 54% das amostras apresentaram diferença inferior a 10 milímetros, 42% apresentaram entre 10 e 20 milímetros de diferença e apenas 4% das amostras ultrapassaram os 20 milímetros, quando comparadas as altitudes obtidas pelo nivelamento geométrico e pelo método RTK. Verificou-se ainda que a média das diferenças entre as altitudes obtidas pelos dois métodos foi de 10 milímetros, sendo o desvio padrão dessas diferenças igual a 5 milímetros, caracterizando uma amplitude amostral entre altitudes de apenas 21 milímetros.

Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a determinação da altitude pelo posicionamento em tempo real (RTK) apresentou precisão satisfatória atendendo adequadamente à maioria das necessidades da topografia. Cabe salientar que, apesar de ser considerado mais preciso, o nivelamento geométrico consiste em um método que demanda de maior tempo e maior número de operadores para levantamento quando comparado ao RTK, em virtude da necessidade de intervisibilidade entre os pontos levantados necessária neste tipo de nivelamento. Diante o exposto, pôde-se constatar rapidez e eficiência do método de posicionamento em tempo real também para determinação de desníveis.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133**. Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, p. 06. 1994.

APRH – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management: Glossary: Reference Ellipsoid*. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/elipsoide-de-referencia.html>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

BARBOSA, Eduardo de Magalhães; MONICO, João Francisco Galera; ALVES, Daniele Barroca Marra; OLIVEIRA, Leonardo Castro de. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **Boletim de Ciências Geodésicas**, p. 589-605, 2010.

CASTRO, André Luís Pereira de. **Nivelamento Através do GPS**: Avaliação e proposição de estratégias. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

GONÇALVES, José Alberto; MADEIRA, Sérgio; SOUSA, J. João. **Topografia**: Conceitos e Aplicações. 3. ed. Lisboa: Lidel, 2012. 357 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017a. **Modelo de Ondulação Geoidal: Apresentação**. Disponível em:

<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>. Acesso em: 20 out. 2017.

_____. **Modelo de Ondulação Geoidal: O que é o Geóide?** 2017b. Disponível em:

<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/oquee_geoide.shtm>. Acesso em: 20 out. 2017.

_____. **Relatório Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, 2018.

_____. **Rede Altimétrica**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16283-rede-altimetrica.html?=&t=sobre>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS**. Descrição, fundamentos e aplicações, 2008.

MOREIRA, Antonio Sérgio Bento. **Nivelamento Trigonométrico e Nivelamento Geométrico Classe IIN da NBR 13.133**: Limites e Condições de Compatibilidade. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil: Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

OLIVEIRA, Eduardo Freitas. **Posicionamento em tempo real com GPS RTK**. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/posicionamento-em-tempo-real-com-gps-rtk/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

PINTO, Marcelo Solfa; CAMARGO, Paulo de Oliveira; MONICO, João Francisco Galera. Influência da combinação de dados GPS e GLONASS no georreferenciamento de imóveis rurais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 1, 2013.

SANTOS, Marcelo Soares Teles; AMARO, Venerando Eustáquio; FERREIRA, Anderson Targino da Silva; SANTOS, André Luis Silva dos. Altimetria GNSS de precisão aplicada ao monitoramento da dinâmica sedimentar costeira de curta duração em escala regional. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.624-638, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702013000400007>.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de topografia**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. 274p.

VITTI, Dalva Maria de Castro; JÚNIOR, Cláudio Bielenki; MAUAD, Frederico Fábio; VERONEZ, Maurício Roberto. Determinação das componentes do desvio da vertical para estabelecimento de referencial batimétrico na Represa do Lobo, Itirapina-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, 2017.