
ASSOCIAÇÃO GNSS/NIVELAMENTO AO MAPGEO2010 NA DETERMINAÇÃO DA ONDULAÇÃO GEOIDAL

DANIEL ARANA
JOSÉ MILTON ARANA

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
daniel_arana1@hotmail.com arana@fct.unesp.br

RESUMO - O *Global Navigation Satellite System* (GNSS) proporciona altitudes geométricas. No entanto, pelo fato das altitudes geométricas possuírem apenas significado matemático, normalmente não são utilizadas nas obras de engenharias, estas utilizam-se das altitudes ortométricas que estão vinculadas ao campo da gravidade da Terra. Para a transformação das altitudes geométricas em altitudes ortométricas, há a necessidade do conhecimento da altura geoidal. Com objetivo de melhorar as ondulações proporcionadas pelo MapGeo2010 apresenta-se a metodologia e resultados da integração do GNSS/nivelamento ao MapGeo2010. Com objetivo de verificar a aplicabilidade e confiabilidade, executou-se levantamentos GNSS em pontos de Referências de Nível (RRNN), pertencentes à Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil (RNFB), determinadas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizou-se levantamentos GNSS em duas regiões distintas, um na região de Maringá (PR) e outro na região de Presidente Prudente (SP). Nas RRNN, foram determinadas as ondulações geoidais por GNSS/nivelamento e também por meio do MapGeo2010. As ondulações determinadas por GNSS/nivelamento e pela integração GNSS/nivelamento associado ao MapGeo2010, calculou-se os resíduos e as dispersões em duas áreas distintas. Na região de Maringá a dispersão encontrada foi de 11,0 cm e em Presidente Prudente, a dispersão foi de 17,6cm.

ABSTRACT - The Global Navigation Satellite System (GNSS) provides geometric altitudes. However, because of the geometric altitudes have only a mathematical meaning, they are not normally used in engineering projects, they use orthometric heights that are linked to the Earth's gravity field. For transformation of geometric heights in orthometric heights, there is the need for knowing the geoid height. Aiming to improve the undulations provided by MapGeo2010 presents the methodology and results of the integration of GNSS/leveling to MAPGEO2010. In order to verify the applicability and reliability, was executed GNSS surveys in points bench marks (RRNN), belonging to the Network of Primary leveling Brazil (RNFB), determined by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), it was held GNSS survey in two distinct regions, one in Maringá (PR) and another in the region of Presidente Prudente (SP). In RRNN were determined by the geoid undulation by GNSS/leveling and also by MapGeo2010. The undulation determined by GNSS/leveling and by the integration of GNSS/leveling with MapGeo2010, we calculated the waste and the dispersions in two distinct areas. In Maringá, the dispersion found was 11,0 cm and in Presidente Prudente, the dispersion was 17,6cm.

1 INTRODUÇÃO

O *Global NAVigation System with Time And Ranging/Global Positioning System* - NAVSTAR/GPS foi substituído por *Global Navigation Satellite System* (GNSS), mais abrangente, pois engloba os sistemas GPS, *Global Orbiting Navigation Satellite System* (GLONAS) Galileu entre outros (ALVES, et al., 2010). O GPS é um sistema de rádio-navegação, desenvolvido e realizado pelo *United States Department of Defense* da *National Aeronautical Space Administration* - NASA (SEEBER, 1993).

O método convencional, utilizado para a determinação da altitude ortométrica, é o nivelamento geométrico associado à gravimetria. Estes pontos são materializados no terreno e denominados de Referências de Nível (RN). Estas RRNN são constituídas por peças de bronze chumbadas em blocos de concreto, na soleira de igrejas, monumentos, plataforma de estações ferroviárias, etc.

No entanto, o nivelamento com GNSS, embora preciso, não fornece altitude ortométrica, e sim a altitude elipsoidal, que não possui significado físico, apenas matemático. As obras de engenharia necessitam de altitudes relacionadas ao geóide, limitando assim o uso do levantamento GNSS. Na grande maioria de obras de engenharia, nos levantamentos geodésicos ou topográficos, utilizam a altitude ortométrica (altitude referenciada ao geóide, este definido como sendo a *superfície equipotencial do campo da gravidade que mais se aproxima do nível médio dos mares não perturbados*). As altitudes, ortométrica e a geométrica, estão relacionadas pela Equação (1).

$$H \cong h - N \quad (1)$$

Onde H representa a altitude ortométrica no ponto; h é a altitude geométrica no mesmo ponto; e N, altura geoidal ainda no mesmo ponto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O GNSS possibilita o posicionamento tridimensional e a determinação de posições horizontais precisas já é um processo rotineiro para os atuantes nas ciências geodésicas. Entretanto, a altitude geométrica, proporcionada pelo GNSS, tem apenas um significado matemático e, geralmente, na cartografia e em obras de engenharia utiliza-se as altitudes ortométricas por possuírem um significado físico, diretamente relacionada a grandeza *Trabalho*.

2.1 Precisão na altitude

A componente altitude é afetada pelo modo (técnica) de levantamento e pela observável utilizada no levantamento GNSS. Utilizando-se de técnicas de levantamentos e de combinações de procedimentos de processamento, a precisão da altitude geométrica esperada é de 1,5 a 2 vezes menos acurada que as componentes horizontais (FEATHERSTONE et al, 1998).

2.2 Multicaminhamento

Os multicaminhamentos ocorrem quando os sinais GNSS são refletidos de objetos próximos, ou mesmo da superfície, antes de atingir a antena do receptor. Os multicaminhamentos podem causar erros de poucos metros na altitude elipsoidal quando utilizadas as observações do código, e de poucos centímetros quando utilizada a fase da portadora. Entretanto, o valor exato do erro provocado pelo multicaminhamento não pode ser determinado, pois este depende de fatores específicos do local. Para evitar os possíveis multicaminhamentos, adotou-se a estratégia de selecionar locais de rastreamentos em que não havia possibilidade das antenas receberem sinais refletidos de objetos (construções civis, árvores etc.) próximos.

2.3 Orientação e Centro de Fase da Antena

O centro de fase (eletrônico) da antena não coincide, necessariamente, com o seu centro geométrico. O centro de fase pode variar de acordo com a posição de cada satélite (elevação e azimute). As maiorias dos programas computacionais corrigem este efeito. Entretanto, com a finalidade de minimizar o efeito do centro de fase da antena em um levantamento, procedimentos especiais devem ser tomados, como utilizar preferencialmente antenas de um mesmo fabricante e mesmo modelo, e orientar todas as antenas na mesma direção nas coletas de dados GNSS.

2.4 Processamento dos dados GNSS

Os dados pertencentes à região de Maringá foram processados com uso do “pacote” de programas denominado *GPS Analysis Software – GAS*, elaborado pela Universidade de Nottingham. Este programa foi desenvolvido, principalmente, para o processamento estático e ajustamento de multi-estações (STEWART et al, 1994). O GAS foi elaborado visando principalmente o processamento de redes GNSS, utilizando-se de dupla diferença de fase da portadora, onde a rede GNSS é formada com estações que coletam simultaneamente os dados dos mesmos satélites (STEWART et al, 1994).

No processamento dos dados GNSS da Região de Presidente Prudente, foram utilizados os programas *Reliance* (da Ashtech) e *GPSurvey* (da Trimble), sendo que o primeiro (*Reliance*) foi utilizado para descarregar os dados do receptor ZXII e transforma-los para o formato RINEX; o segundo programa foi utilizado no processamento dos dados

D. Arana, J. M. Arana.

GNSS, no modo estático relativo (observa-se que foram utilizados os dados, disponíveis, da estação UEPP, pertencente a RBMC).

2.5 Determinação da ondulação geoidal a partir do GNSS/nivelamento associado ao MapGeo2010

A determinação da altura do geoidal a partir do rastreamento GNSS em pontos pertencentes à rede fundamental de nivelamento do Brasil RN calcula a “real” ondulação do geóide. Os modelos do geopotencial fornecem a ondulação do geóide do modelo. A diferença entre as ondulações geoidal do modelo com as ondulação determinada com GNSS/nivelamento, permite o cálculo da “separação” entre o modelo e o efetivo geóide (δN); levado este conceito de diferenças de ondulações geoidais (modelo – GNSS/nivelamento) às várias RRNN existentes na região, pode-se, com auxílio das Equações 2 e 3, do método dos mínimos quadrados (m.m.q.), determinar os parâmetros da Equação 5 (poli-superfície) que representa o “modelo matemático” da separação existente entre o geóide, naquela região, e o MapGeo2010.

Esquemáticamente, a Figura 1 nos mostra a situação da determinação da ondulação do geóide por GNSS/nivelamento associado ao MapGeo2010.

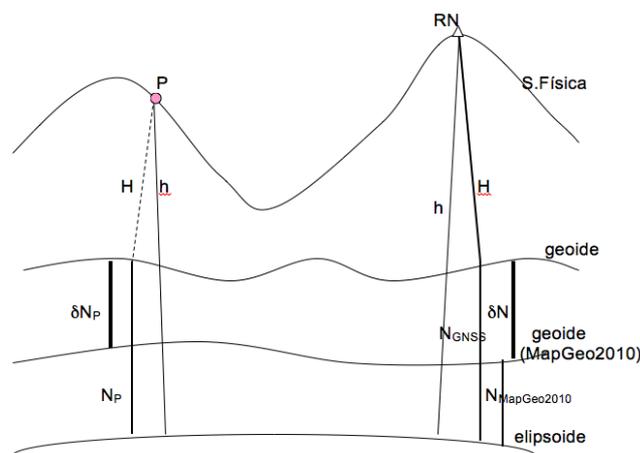


Figura 1 - Determinação da ondulação do geóide pela associação do GNSS/nivelamento ao MapGeo2010

Onde, na figura, H é a altitude ortométrica; h indica a altitude geométrica; $N_{MapGeo2010}$ representa a ondulação do geóide obtida pelo modelo MapGeo2010; N_{GNSS} é a ondulação do geóide obtida pelo GNSS/nivelamento; e δN – Separação da ondulação determinadas por MapGeo2010 e por GNSS/nivelamento.

Com auxílio da Figura 1 tem-se:

$$\delta N = N_{GNSS} - N_{MapGeo2010} \tag{2}$$

Ainda, utilizando a Figura 1 e imaginando uma situação onde determinar a altitude ortométrica, utilizando desta técnica – associação do GNSS/nivelamento com o modelo geopotencial – onde, P representa o ponto no qual intenciona-se a determinação do N_p . Em uma situação ideal, tem-se:

$$N_p = N_{MapGeo2010} + \delta N_p \tag{3}$$

A determinação dos parâmetros da Equação 5 (a, b, c, d) dá-se pelo método dos mínimos quadrados, onde serão determinados os parâmetros da Equação acima, que representará a diferença de ondulação (δN_p), obtido pelo MapGeo2010 e GNSS/nivelamento nas RRNN.

$$\delta N_i = N_{GNSS} - N_{MapGeo2010} \tag{5}$$

$$\delta N_i = a\varphi_i + b\lambda_i + ch_i + d \tag{6}$$

Onde δN_i representa a diferença de ondulação determinadas por GNSS/nivelamento e da determinada pelo MapGeo2010, na RN; a, b, c, d são os parâmetros a serem determinados pelo método dos mínimos quadrados; φ_i é a latitude da RN; λ_i representa longitude da RN; e h_i é a altitude geométrica da mesma RN.

3 DESENVOLVIMENTO

Com a finalidade de atingir os objetivos deste projeto, foram selecionadas as regiões de Maringá PR e a de Presidente Prudente para as realizações dos experimentos de campo, onde as referências de nível (RRNN) pertencem à Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil - RNFN (altitudes determinadas pelo IBGE). Foram aplicadas as recomendações sugeridas em (ARANA, 2001).

3.1 Planejamento para o rastreamento na Região de Maringá PR

Com as RRNN reconhecidas (encontradas) elaborou-se um programa de rastreio, o qual contém o itinerário de rastreio das RRNN. Na elaboração deste programa foram selecionadas as RRNN a serem rastreadas, procurando-se escolher as RRNN de maneira que ficassem aproximadamente equidistantes uma das outras. Nesta etapa foram selecionadas 48 RRNN, conforme apresentado na Figura 2, que segue:

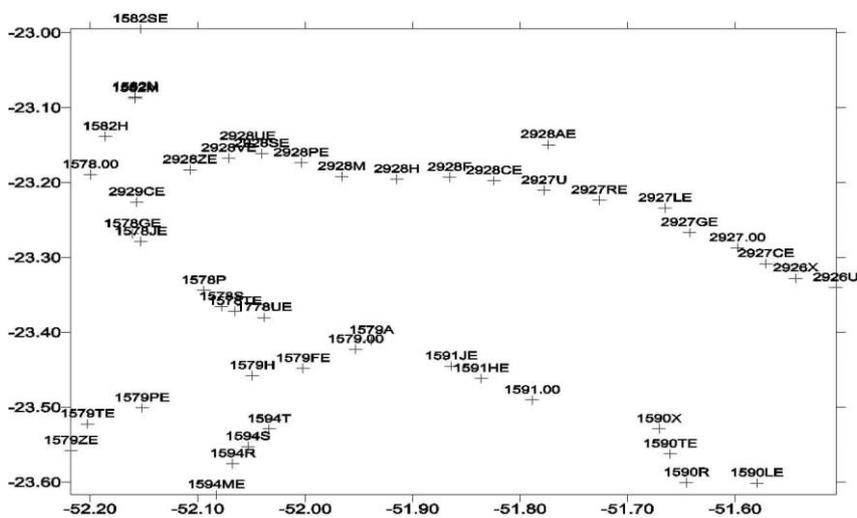


Figura 2 - Distribuição das RRNN na Região de Maringá PR.

3.2 Planejamento para o rastreamento na Região de Presidente Prudente SP

Considerando que as distâncias das RRNN mais afastadas da Estação UEPP, estação pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC (considerada como estação conhecida no processamento GNSS) estão à aproximadamente 50 km, e sugestões de (ARANA, 2001), verificou-se que 50 minutos de rastreamento nestas RRNN seriam suficientes para obter resultados confiáveis. Os tempos de rastreamentos das RRNN foram, aproximadamente, proporcionais às distâncias da estação UEPP. Com distribuição apresentada na Figura 3, que segue:

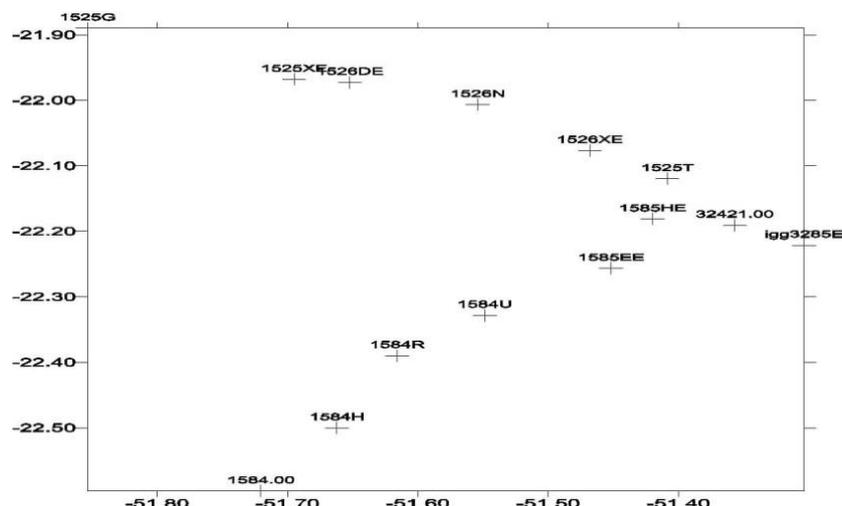


Figura 3 - Distribuição das RRNN na Região de Presidente Prudente

4 RESULTADOS

A Tabela 1, que segue, contém: na primeira coluna a denominação da RN; na segunda coluna a discrepância entre as altitudes determinadas pelo nivelamento geométrico e as determinadas pela integração do GNSS/nivelamento com o MapGeo2010.

Tabela 1- Discrepâncias das ondulações GNSS/nivelamento e as determinadas da integração Região de Maringá

RN	$N_{GNSS/niv} - N_{Int}(m)$	RN	$N_{GNSS/niv} - N_{Int}(m)$
1582SE	-0,082	1591D	0,025
1582N	-0,054	1590X	0,0575
1582M	-0,118	1590TE	0,0444
1582H	-0,096	1590R	0,0557
1578D	0,062	1590LE	-0,083
1578GE	0,111	2926U	-0,077
1578JE	0,016	2926X	-0,105
1578P	-0,037	2927CE	-0,117
1578S	-0,026	2927E	-0,172
1578TE	-0,128	2927GE	0,106
1579D	-0,054	2928AE	-0,023
1579A	0,085	2927LE	0,057
1778UE	0,258	2927RE	0,142
1594T	-0,013	2927U	0,161
1594S	0,093	2928F	0,015
1594R	-0,040	2928H	0,123
1594ME	-0,053	2928CE	-0,045
1579ZE	-0,025	2928M	0,321
1579TE	-0,090	2928PE	-0,092
1579PE	0,187	2928SE	0,027
1579FE	0,211	2928UE	0,047
1579H	0,037	2928VE	-0,069
1591JE	0,005	2928ZE	0,026
1591HE	-0,047	2929CE	0,045

Na Tabela 1, constata-se que a maior discrepância entre das ondulações da Região de Maringá, determinadas pelo GNSS/nivelamento e as determinadas pela integração do GNSS/nivelamento ao MapGeo2010 é de 32,1cm, RN 2928M e a menor discrepância encontrada foi -0,5cm, na RN 1591JE.

Com uso da Tabela 1, elaborou-se a Figura 4, a qual apresenta as curvas de isolinhas com as discrepâncias das ondulações, as determinadas pelo GNSS/nivelamento e pela associação do GNSS/Nivelamento ao MapGeo2010.

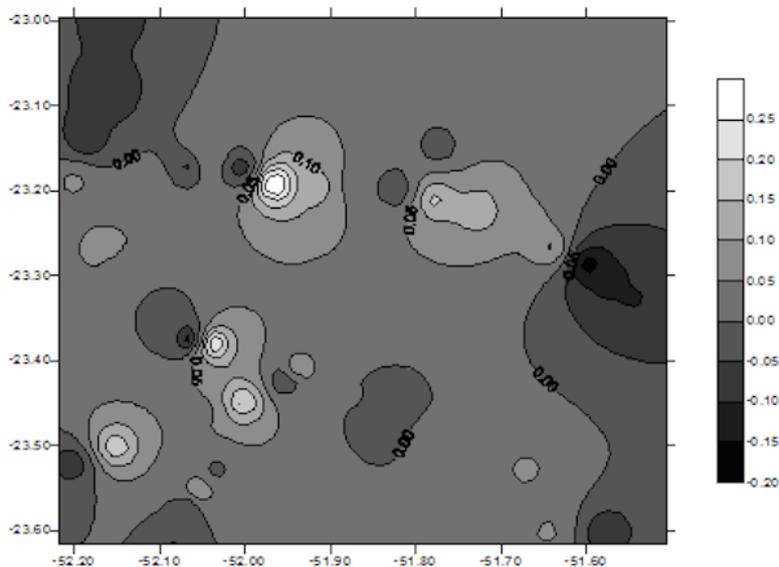


Figura 4 – Discrepâncias entre as ondulações GNSS/nivelamento e as determinadas pela associação do GNSS/Nivelamento ao MapGeo2010. – Região de Maringá.

A Tabela 2 contém, na primeira coluna as denominações das RRNN e na segunda coluna as discrepâncias entre as ondulações determinadas pelo GNSS/nivelamento e as determinadas pela integração GNSS/nivelamento associado ao MapGeo2010.

Tabela 2 - Discrepâncias das ondulações GNSS/nivelamento e as determinadas da integração - Região de Presidente Prudente

RN	$N_{\text{GNSS/niv}} - N_{\text{Int}} \text{ (m)}$
1525T	-0,144
1525XE	0,121
1526DE	-0,207
1526N	0,197
1526XE	-0,073
1584D	-0,016
1584H	0,044
1584R	0,088
1584U	-0,092
1585EE	0,008
1525G	-0,007
1585HE	0,208
32421E	-0,286
IGG3285E	0,084

Analisando a Tabela 2, verifica-se que a maior discrepância entre as ondulações determinadas pelo GNSS/nivelamento e as determinadas pela integração é na RN 1585HE (excêntrica), apresentando valor de 28,6cm e as menores discrepâncias determinadas foram nas RRNN 1525G e 1585EE, com valores respectivos de 0,7 e 0,8cm.

A partir da Tabela 2, elaborou-se a Figura 5, que apresenta as discrepâncias entre as ondulações determinadas pelo GNSS/nivelamento e as determinadas pela associação do GNSS/nivelamento ao MapGeo2010, região de Presidente Prudente.

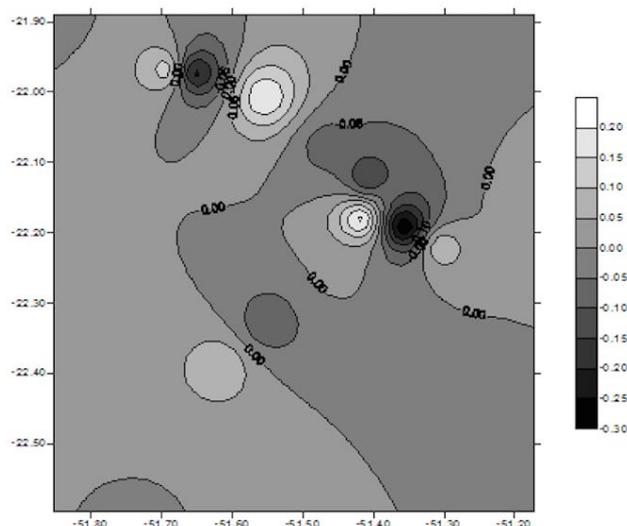


Figura 5 – Discrepâncias entre as ondulações GNSS/nivelamento e as determinadas pelo MapGeo2010 na região de Presidente Prudente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discrepâncias das ondulações determinadas por GNSS/nivelamento e as determinadas pela integração do GNSS/nivelamento ao MapGeo2010, na região de Maringá PR proporcionaram dispersão de aproximadamente 11,0cm. Na região de Presidente Prudente, a dispersão apresentada foi de 17,6cm. Acredita-se que esta diferença observada entre as dispersões seja devido às características geofísicas próprias da região e ao do número (quantidade) das RRNN. Na Região de Maringá foram utilizadas 48 e na Região de Presidente Prudente foram utilizadas 14 RRNN, ainda deve-se considerar a distribuição destas RRNN. Ainda foi possível constatar que os dados possuem uma amplitude da dispersão dos dados de 31,6 e 27,9cm para as respectivas regiões, portanto a quantidade de parâmetros da superfície escolhida é compatível em ambas regiões de estudo.

A utilização de um modelo matemático, para representar as discrepâncias das ondulações geoidais proporcionadas pelo GNSS/nivelamento e as disponibilizadas pelo IBGE, determinado pelo método dos mínimos quadrados, deverá apresentar melhor resultados para as regiões que possuem o maior número de observações. Assim, estas discrepâncias de maior amplitude nos extremos da região já eram esperadas.

Os resultados apresentados neste artigo estão compatíveis aos resultados apresentados em trabalhos de natureza similar a este (GREBNITCHARSKY, 2005) e que esta metodologia pode ser utilizada em várias aplicações da engenharia.

Estes resultados sugerem que esta integração pode ser utilizadas em várias áreas das engenharias, nas quais não haja necessidade de precisão absoluta superior a estas aqui determinadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. M. D.; ROMÃO, V. M. C.; MONICO, J. F. G.; GARNÉS, S. J. dos A. Avaliação da qualidade do posicionamento por ponto preciso na sua forma on-line. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife PE. 2010.

ARANA, J. M. O uso do GPS na elaboração de Carta Geoidal. **Geociências**. Editora Unesp. São Paulo. 2001. v 20. n 1/2.

FEATHERSTONE, W.E.; DENTITH, M.C. & KIRBY, J.F. Strategies for the accurated determination of orthometric heights from GPS. *Survey Review*, v.34, p.278-295, 1998.

GREBNITCHARSKY, R.S.; RANGELOVA, E.V.; SIDERIS, M.G. Transformation between gravimetric and GPS/levelling-derived geoids using additional gravity information. **Journal of Geodynamics**. 2005. V 5.

KUANG, S., FIDIS, C., THOMAS, F. Modeling of the local geoid with GPS and leveling: A case study. **Journal of Surveying and Engineering**. American Society of Civil Engineers. 1999. v 125, n 3.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Walter de Gruyter, New York.1993.

STEWART, M. P., FFOUKES-JONES, G. H., OCHIENG, W. Y. (1994) GPS Analysis Softwares (GAS), Version 2.2. User Manual. **IESSG Publication, University of Nottingham**. UK.