



Avaliação da Determinação de Altitude Ortométrica Utilizando EGM2008 e MAPGEO2010 em Porto Alegre/RS

Elen Marten de Lima, PPGSR/UFRGS
Jaqueline Vicente Matsuoka, PPGSR/UFRGS
Samuel Basso, PPGSR/UFRGS

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Neste trabalho foi avaliada a diferença entre as altitudes ortométricas obtidas por dois diferentes modelos de ondulação geoidal: o EGM2008 e o MAPGEO2010, considerando 94 pontos localizados no município de Porto Alegre/RS. Estes pontos possuem tanto a altitude ortométrica e a altitude geométrica. Com as ondulações geoidais advindos dos modelos calculou-se a altitude ortométrica de cada ponto e comparou com a altitude ortométrica conhecida. As diferenças obtidas são em média, da ordem de 33,4 cm para o MAPGEO2010 e de 36,2 cm para o EGM2008.

Introdução

A definição da altitude ortométrica (H), segundo Goldani (2002) é que esta possui significado físico, pois representa a distância vertical contada de um ponto da superfície terrestre até uma superfície de referência, definida por uma superfície equipotencial do campo da gravidade e aproximadamente coincidente com o nível médio dos oceanos, também denominado de geóide, o qual define a forma aproximada da Terra. Esta altitude, por sua vez, é objeto de pesquisa da Geodésia Física há muito tempo. O nivelamento geométrico, método clássico para determinação da altitude ortométrica, possui alto custo e demanda muito tempo de execução e exigindo também profissionais experientes, o que para países de grande extensão territorial e com grande diversidade de acidentes geográficos, como o Brasil, diminui ainda mais as chances de execução de uma rede de nivelamento que atenda a todas às regiões do País. Com o advento dos satélites artificiais, surgiram missões espaciais com o intuito de mapear o campo de gravidade terrestre, missões como GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*), CHAMP (*CHAllenging Minisatellite Payload*) e GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) executaram com sucesso a tarefa de determinar os elementos do campo gravitacional de todo o globo terrestre resultando em modelos geoidais globais, como EGM2008 (*Earth Gravitational Model 2008*). Ainda, o desenvolvimento dos sistemas de navegação por satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*), proporcionou a determinação de coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) sobre todo o globo. Estas coordenadas cartesianas geocêntricas, as quais estão referenciadas ao elipsoide, superfície de referência que é o modelo matemático que representa a Terra, podem ser transformadas em coordenadas geodésicas latitude, longitude e a altitude geométrica (h), que é a

distância medida, ao longo da normal, entre a superfície física terrestre, e o elipsoide. A relação entre a altitude ortométrica (H) e a altitude geométrica (h) se dá através da ondulação geoidal (N), que é a separação entre o geóide e o elipsoide. Assim, pode-se determinar H pela diferença entre h e N.

Neste trabalho pretende-se avaliar a diferença entre as altitudes ortométricas obtidas por dois diferentes modelos de ondulação geoidal: o EGM2008 e o MAPGEO2010.

Metodologia

Nos últimos anos a possibilidade de substituir os métodos tradicionais de determinação da altitude ortométrica pelo uso do GPS, combinado com alturas geoidais obtidas a partir de modelos de alta resolução tem sido amplamente estudada e avaliada. Na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, a prefeitura materializou uma nova Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM), com 50 marcos geodésicos e 44 marcos de azimute bem distribuídos geograficamente. A altitude H foi determinada via nivelamento geométrico cuja partida e chegada eram Referências de Nível (RRNN) pertencentes à Rede de Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Além do nivelamento geométrico, foram realizadas observações GNSS nestes 94 pontos da rede municipal. As ondulações geoidais foram calculadas por dois modelos distintos: o EGM2008 e o MAPGEO2010, este último foi desenvolvido pelo IBGE em parceria com a Escola Politécnica da USP. É utilizado para avaliar a eficiência da técnica em caráter local. Possui resolução de 5' e foi calculado utilizando mais de 900 mil pontos de gravimetria terrestre para a América do Sul e, no Brasil, pouco mais de 13 mil novos pontos gravimétricos foram medidos, validados em relação ao MAPGEO2004 e inseridos neste modelo (IBGE). É importante destacar que a técnica da Transformada Rápida de Fourier (FFT) foi utilizada para o cálculo das ondulações geoidais. O EGM2008 é um modelo geopotencial global, que foi calculado e disponibilizado para a comunidade científica pela equipe de desenvolvimento do *Earth Gravitational Model* (EGM) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) / NGA. O modelo é completo até grau e ordem 2159 e contém coeficientes harmônicos esféricos adicionais até o grau 2190 e ordem 2159. Devido à melhora na distribuição geográfica dos dados gravimétricos existentes na determinação dos coeficientes, os modelos geopotenciais de alto grau e ordem tornaram-se mais eficientes na representação do campo de gravidade anômalo da superfície terrestre, utilizando-os na determinação da altitude ortométrica (Severo, 2011). Com a $N_{EGM2008}$, a $N_{MAPGEO2010}$ e altitude geométrica (h), dos 94 pontos da

RRCM foram calculadas suas respectivas $H_{EGM2008}$ e $H_{MAPGEO2010}$ conforme a expressão: $H = h - N$.

Resultados

Calculou-se a diferença ($\Delta H_{EGM2008}$) entre $H_{EGM2008}$ e H do descritivo ($H_{DESCRITIVO}$), a qual foi determinada via nivelamento geométrico. O mesmo cálculo foi feito entre $H_{MAPGEO2010}$ e $H_{DESCRITIVO}$ ($\Delta H_{MAPGEO2010}$). Calculou-se a média residual da equação:

$$\Delta \bar{H}_r = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \Delta H_{r_i} \tag{2}$$

Onde

$\Delta \bar{H}_r$ é a média residual

n é o tamanho da amostra

ΔH_{r_i} é diferença entre $H_{DESCRITIVO}$ e as altitudes dos modelos ($H_{EGM2008}$ e $H_{MAPGEO2010}$).

Devido à grande quantidade de pontos, são apresentados na tabela 1 apenas os maiores e menores valores (em módulo) encontrados, assim como a média residual.

Tabela 1 – Maior e menor diferença (em módulo) encontrada para os respectivos ΔH , suas amplitudes, suas médias residuais e os desvios-padrão.

	$\Delta H_{EGM2008}$ (m)	$\Delta H_{MAPGEO2010}$ (m)
Núm. de pontos	94	94
Menor valor	0,14	0,135
Maior valor	0,502	0,469
Amplitude	0,362	0,334
Média residual	0,0032	0,0033
Desvio-padrão	0,067	0,061

As diferenças entre as altitudes ortométricas calculadas tanto utilizando o $N_{MAPGEO2010}$ quanto o $N_{EGM2008}$ são em média, da ordem de 33,4 cm e 36,2 cm respectivamente. A tabela 1 mostra que a diferença entre o menor valor calculado para o $\Delta H_{EGM2008}$ e o menor valor do $\Delta H_{MAPGEO2010}$ é de 5 milímetros, já a diferença entre os maiores valores não é tão pequena, de 3 centímetros.

Discussão e Conclusões

Neste trabalho foram geradas as ondulações geoidais dos marcos da nova Rede de Referência Cadastral Municipal da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Gerou-se a ondulação geoidal no modelo MAPGEO2010, assim como também foi gerada, para cada um dos 94 pontos da RRCM, a ondulação geoidal no modelo global EGM2008. A partir destes dados foram calculadas as altitudes ortométricas $H_{EGM2008}$ e $H_{MAPGEO2010}$ e comparadas com as altitudes ortométricas constantes nos descritivos dos marcos da RRCM. A maior discrepância entre o $H_{EGM2008}$ e o $H_{DESCRITIVO}$ foi de 50,2 centímetros e menor de 1,4 centímetros. De maneira análoga foi feito o cálculo da

diferença entre $H_{MAPGEO2010}$ e $H_{DESCRITIVO}$ onde o maior valor encontrado foi de 46,9 cm e o menor de 13,5 cm. O desvio-padrão calculado foi de 0,067 m para a $H_{EGM2008}$ e de 0,061 m para a $H_{MAPGEO2010}$. As diferenças encontradas entre os dois modelos são muito pequenas, assim, para a região estudada, ao utilizar o $N_{EGM2008}$ ou $N_{MAPGEO2010}$ para o cálculo de H , os resultados obtidos serão compatíveis, ou seja, pode-se usar tanto um quanto o outro modelo. Entretanto, o MAPGEO2010 é o modelo geoidal oficial para o cálculo das altitudes ortométricas através de informações de rastreo GNSS, sendo recomendado seu uso, visto que os dados oriundos de outros trabalhos de levantamento devem considerar a ondulação advinda deste modelo. Os resultados mostram uma proximidade entre as discrepâncias encontradas nos dois modelos. Isto era esperado devido ao fato de o MAPGEO2010 utilizar o EGM2008 até o grau e ordem 150, para remover os longos comprimentos de onda da anomalia de Helmert e para repor no final a mesma componente na altura geoidal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Porto Alegre (RS) pela disponibilização dos dados para a pesquisa.

Referências

Goldani, D., Genro, R. S., Salomoni, R., 2002. Determinação de um Modelo Geoidal Local para o Município de Porto Alegre. Projeto Cartográfico do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

IBGE, 2014. Modelo de Ondulação Geoidal. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/mo delo_geoidal.shtm>. Acesso: 24 junho 2014.

International Centre for Global Earth Models, 2014. Calculation of Gravity Field Functionals on Ellipsoidal Grids. Disponível em <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>>. Acesso: 20 junho 2014.

Matos, A. C. O. C. de, Blitzkow, D., Guimarães, G. do N., Lobianco, M. C. B., Costa, S. M. A., 2012. Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba (PR), Brasil, vol. 18, n. 1: 101-122.

Melo, L. F. de S., De Freitas, S. R. C.. 2012. Avaliação de modelos globais do geopotencial para os estados do Maranhão e Piauí. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba (PR), Brasil, vol. 18, n. 2: 2-3-224.

Severo, T. C., Klein, I., Souza, S. F. de, Matsuoka, M. T., Veronez, M. R., 2011. Eficiência das alturas geoidais obtidas de modelos geoidais gravimétricos e geopotenciais no município de Porto Alegre. Scientia Plena, vol. 7, n. 1: 1-9.

Torge, W., 2001. Geodesy. 3rd ed., de Gruyter, New York, USA.