

AVALIAÇÃO DO NOVO GEOIDE LOCAL GNSS DA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS

Elen Marten de Lima¹
Sérgio Florêncio de Souza¹
Carolina Collischonn¹
Marcelo Tomio Matsuoka¹
Ivandro Klein¹

¹**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**
Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto
e-mail: elen.lima@ufrgs.br, sergio.florencio@ufrgs.br,

RESUMO

O segmento da ciência, que se preocupa em estudar a forma da Terra, sua dimensão, o campo de gravidade e suas variações temporais é a Geodésia. A determinação do campo de gravidade tem provado ser uma tarefa exequível, tal como foi feito pelas missões espaciais (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer* - GOCE, *CHallenging Minisatellite Payload* - CHAMP e *Gravity Recovery and Climate Experiment* - GRACE). Atualmente, os dados coletados a partir de uma dezena de satélites são utilizados para determinar o campo de gravidade da Terra, que contém informações importantes para o conhecimento da forma, da estrutura e dos processos dinâmicos que ocorrem no interior do planeta. Nos últimos anos, os satélites artificiais, o desenvolvimento de novos algoritmos e a evolução da informática, possibilitaram o processamento dessas informações com rapidez, e estão alterando a coleta e a integração de dados geodésicos, permitindo ampliar a resolução e a escala da representação do campo de gravidade. Os modelos geopotenciais, expressos por conjuntos de coeficientes do potencial gravitacional anômalo desenvolvido em harmônicos esféricos, são determinados através da integração de dados do campo de gravidade heterogêneos de precisões distintas. Atualmente, esses dados integram os sistemas de referência geodésicos e vem sendo usados como esferóides combinados com dados locais para a representação do campo de gravidade anômalo de alta resolução. O modelo geopotencial atual, o EGM2008 que possui precisão global da ordem de 15 cm tem sido amplamente testado em relação a geoides regionais ou locais, tanto baseados em dados gravitacionais quanto geoides gerados a partir de observações GNSS (*Global Navigation Satellite System*). No Brasil, o MAPGEO2010 é o modelo geoidal oficial do Sistema Geodésico Brasileiro, produzido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que utilizou dados de gravimetria de toda a América do Sul. O município de Porto Alegre possui um modelo geoidal local gerado por meio das observações GNSS sobre RRNN que pertencem à sua nova Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM). O objetivo deste trabalho é comparar as ondulações geoidais advindas do EGM2008, do MAPGEO2010 com a do geoide GNSS local desenvolvido, em 2012, pelo Consórcio Guaíba, o qual foi contratado para realizar o mapeamento digital do município. Os resultados mostram que as diferenças encontradas entre as ondulações são, em média, de 31 centímetros, tanto para a diferença entre a ondulação geoidal do MAPGEO2010 e a altura geoidal GNSS quanto para a ondulação geoidal EGM2008 e a altura geoidal GNSS.

Palavras chaves: Ondulação geoidal, geóide local, EGM2008, MAPGEO2010

ABSTRACT

The science segment, concerned about studying the Earth's shape, its dimension, its gravity field and temporal variations is the Geodesy. Determination of the gravity field has proved its enforceability, as the spatial missions have been done (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer - GOCE, CHALLENGING Minisatellite Payload - CHAMP e Gravity Recovery and Climate Experiment - GRACE). Currently, the data collected from a dozen satellites are used to determine the Earth's gravity field, which contains important information for understanding the form, structure and dynamic processes occurring inside the planet. In recent years, the artificial satellites, the development of new algorithms and the evolution of computer technology, enabled the quickly information processing, and are changing the collection and integration geodetic data, expanding the resolution and the scale of representation of the field gravity. The geopotential models, expressed by sets of anomalous gravitational potential coefficients developed in spherical harmonics are determined by integrating data from heterogeneous gravity field in different accuracies. Currently, these data are part of geodetic reference systems and has been used as a combination with local data to represent the anomalous gravity field of high resolution spheroids. The current geopotential model, EGM2008 which has overall accuracy 15 cm has been widely tested in relation to regional or local geoids, both based on gravity data other geoids generated from GNSS (Global Navigation Satellite System). In Brazil, Brazilian Geodetic System has the MAPGEO2010 its official geoid model produced by the IBGE (*Brazilian Institute of Geography and Statistics*), which used data from gravimetry throughout South America. The city of Porto Alegre has a geoid model generated through GNSS observations about RRNN belonging to its new Cadastral Municipal Network Reference. The objective of this study is to compare EGM2008 geoid undulations and MAPGEO2010 geoid undulations with local geoid GNSS developed in 2012. The average difference calculated between EGM2008 geoid undulations and GNSS geoid undulations was about 30,6 centimeters and the average difference between MAPGEO2010 geoid undulations and GNSS geoid undulations was about 31 centimeters.

Keywords: Geoid Undulation, Local Geoid, MAPGEO, EGM2008.

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios da Geodésia é a determinação da altitude ortométrica, altitude esta necessária nas atividades de mapeamento, obras de engenharia, redes de distribuição de água, planejamento urbano, entre outras. O nivelamento geométrico, que é o método comumente utilizado para obtenção de tal altitude além de demandar profissionais experientes, exige tempo e também possui custo elevado de execução. Em países de vasta extensão territorial e com diversas dificuldades geográficas naturais, como o Brasil, a realização de uma rede de nivelamento torna-se ainda mais difícil, visto que é ideal que os pontos estejam espaçados de forma a contemplar toda área do país. Nos últimos anos, com o advento e a evolução dos satélites artificiais, sejam os que têm por objetivo mapear os elementos do campo de gravidade da Terra (missões *Gravity Recovery and Climate Experiment* - GRACE, *CHALLENGING Minisatellite Payload* - CHAMP e GOCE - *Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*), sejam os que têm por objetivo o posicionamento tridimensional sobre o globo terrestre, como os satélites GNSS (*Global Navigation Satellite System*), tem-se estudado a possibilidade de determinar a altitude ortométrica com base nas observações vindas destes equipamentos. A altitude ortométrica (H) tem como superfície de referência o geoide, modelo terrestre que melhor representa a forma da Terra real e que é limitado por uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que coincide com o nível médio não perturbado dos mares. A distância contada sobre a linha vertical de um ponto da superfície terrestre até o geoide é a altitude ortométrica. Os sistemas de posicionamento GNSS tem como superfície de referência o elipsoide, que é o modelo matemático que representa a forma da Terra (GEMAEL, 2002). A distância contada sobre a normal de um ponto na superfície terrestre até o elipsoide é a altitude geométrica (h) e a separação entre o geoide e o elipsoide é a ondulação geoidal (N). Desta forma sabendo-se a ondulação geoidal e a altitude geométrica de um ponto pode-se determinar a altitude ortométrica (Figura 1). A questão está na forma de obter N, podendo-se utilizar três métodos diferentes: por meio de geoides gerados pelos coeficientes dos modelos do geopotencial, geoides gravimétricos regionais e alturas geoidais de dados vindos de observações GNSS sobre RRNN.



A partir destes dados serão avaliadas as diferenças entre as ondulações geoidais dos modelos (EGM2008 e MAPGEO2010), verificando a ocorrência de componente sistemática, ou seja, uma diferença constante entre os diferentes modelos e inferir quais seriam as causas dessa constância, caso ocorra, se não, analisar as diferentes discrepâncias encontradas avaliando também quais as razões destes resultados. Ainda, comparar a diferença entre a altura geoidal obtida via nivelamento GNSS com as ondulações dos modelos e verificar também a proximidade entre os geoides gerados com dados gravimétricos em detrimento das alturas geoidais advindas via GNSS, visto que alguns trabalhos têm sido realizados com este intuito (GOLDANI *et al.*, 2002; SEVERO *et al.*, 2010).

Nesta seção são descritos os dados utilizados no trabalho assim como a metodologia adotada. A prefeitura de Porto Alegre (PMPA) cedeu as monografias dos marcos que constituem a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) materializada pelo Consórcio Guaíba no ano de 2012 assim como também disponibilizou o relatório do nivelamento geométrico realizado para materialização da RRCM. Os cálculos foram todos realizados a partir destas informações.

O município de Porto Alegre está localizado na porção leste do estado do Rio Grande do Sul, no paralelo 30°S e meridiano 51°W. Possui, aproximadamente, 30 km de extensão Norte-Sul e 15 km de leste a oeste, compreendendo uma área total de 476,30 km², dos quais, 44,45 km² correspondem à região das ilhas do Lago Guaíba. O relevo varia de plano, na região central, a ondulado, na parte mais periférica, com variações de altitude de 1,1 m no Aeroporto Salgado Filho e 0,1 m na Ilha das Flores, até 311,20 m em seu ponto culminante, o Morro Santana. Para a realização deste trabalho, tomou-se como base a área representada na carta topográfica do Exército denominada “Porto Alegre”, folha SH-22-Y-B-III-2 / MI-2987/2, que engloba além do Município de Porto Alegre, a faixa limítrofe, à sudeste da região metropolitana, pertencente ao município de Viamão. A figura 2 mostra a área do município de Porto Alegre, incluindo a região das ilhas do Lago Guaíba.

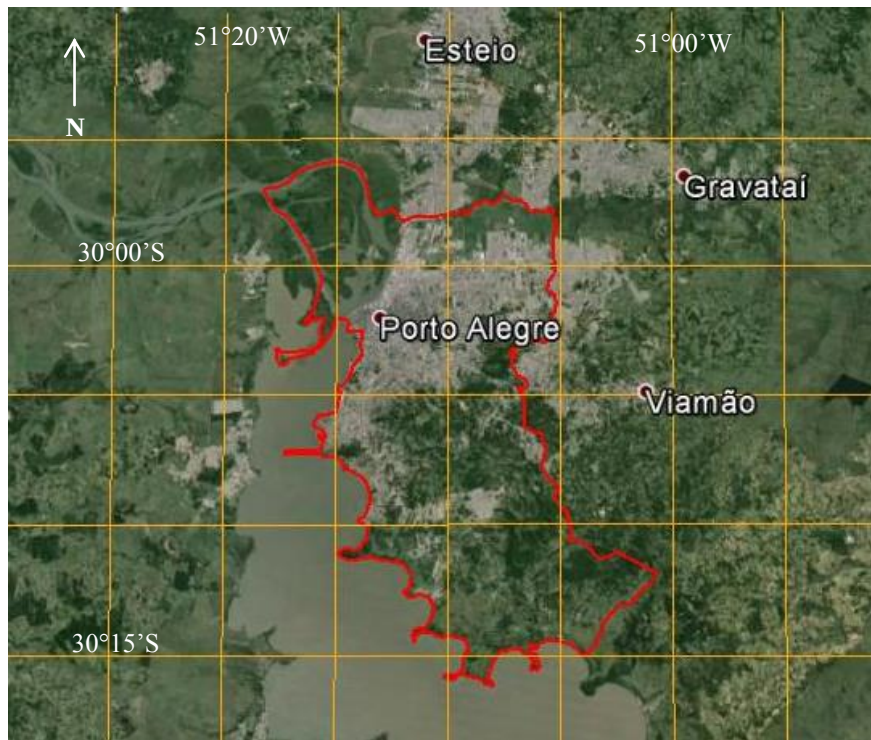


Fig. 2. Limite do município de Porto Alegre – RS. Fonte: Google Earth, 2014.

2.2 Dados utilizados

2.2.1 Alturas geoidais

A determinação de alturas geoidais, a partir do posicionamento GNSS sobre referências de nível tem sido amplamente estudadas, como em GOLDANI *et al.*, 2002; ANTÃO *et al.*, 2008. As observações com GPS resultam em coordenadas cartesianas geocêntricas (X,Y,Z) que podem ser transformadas em coordenadas geodésicas de latitude (φ), longitude (λ) e altitude geométrica (h), com precisão da ordem de centímetros. Assim, ao ocupar um ponto cuja altitude ortométrica é conhecida, como uma referência de nível (RN) ou um marco geodésico pode-se determinar a altura geoidal daquele ponto.

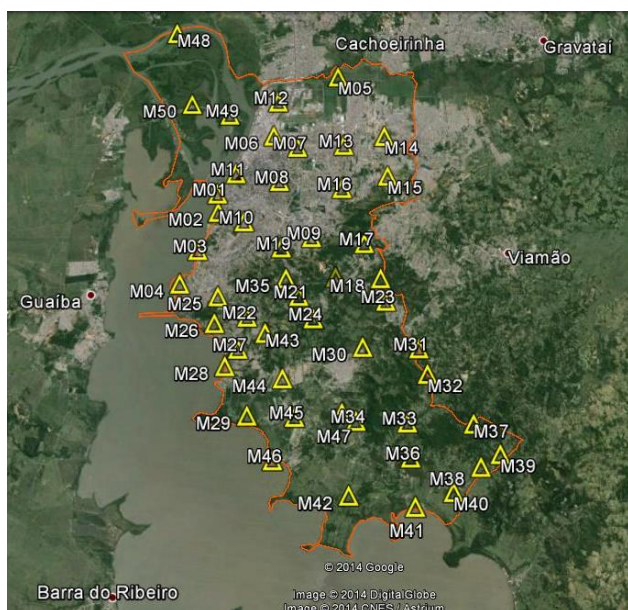
O município de Porto Alegre conta com uma nova RRCM, a qual é composta por 50 marcos geodésicos e 44 marcos de azimuth, bem distribuídos pela cidade incluindo as áreas das ilhas (Figura 3). Estes pontos têm tanto as altitudes geométricas vindas do levantamento GPS quanto as altitudes ortométricas provenientes de nivelamento geométrico cuja saída e chegada eram RRNN pertencentes à Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do IBGE. Nas monografias destes 94 pontos também constam suas respectivas precisões. A tabela 1 exemplifica as informações contidas nos descritivos e suas respectivas alturas geoidal que foram calculadas conforme a equação (1) (HOFMANN-WELLENHOF e MORITZ, 2005):

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

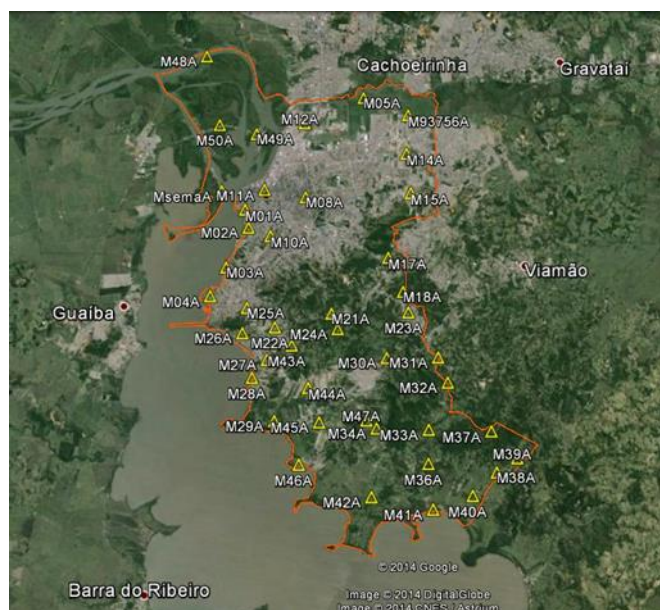
TABELA 1. Coordenadas UTM (Fuso 22) Norte, Este; Altitude ortométrica; altitude geométrica e altura geoidal, em metros, de 20 dos 94 pontos.

Ponto	Norte (m)	Este (m)	H (m)	h (m)	N _{GPS}
M-01	6676254,000	477559,476	6,470	11,826	5,302
M-02	6674933,168	477630,011	3,999	9,332	5,273
M-03	6672204,198	476243,559	6,792	12,173	5,321
M-04	6669832,233	475023,655	14,104	19,577	5,419
M-05	6684822,007	486063,681	6,694	11,802	5,052
M-06	6680457,662	481498,656	5,567	10,806	5,185
M-07	6679632,056	483205,126	13,997	19,205	5,155
M-08	6677156,523	481947,638	32,259	37,547	5,232
M-09	6673122,783	484262,482	173,401	178,713	5,257
M-10	6674256,490	479471,622	17,783	23,135	5,299
M-11	6677726,749	478847,082	15,542	20,845	5,249
M-12	6682959,206	481796,457	5,654	10,829	5,117
M-13	6679777,189	486504,144	21,458	26,659	5,150
M-14	6680439,206	489385,838	35,756	40,927	5,117
M-15	6677534,067	489617,587	66,757	71,977	5,166
M-16	6676643,569	486388,435	70,474	75,763	5,227
M-17	6672706,643	487973,624	42,205	47,543	5,277
M-18	6670226,200	489125,537	55,513	60,862	5,289
M-19	6672390,505	482140,309	269,487	274,866	5,330
M-20	6670307,651	485963,007	131,627	136,995	5,315

A figura 3 apresenta a distribuição dos marcos geodésicos e dos marcos de azimuth da RRCM. A rede foi planejada de forma que, quando possível, todas as regiões do município possuam um destes marcos geodésicos, gerando uma rede bem distribuída geograficamente. Os marcos de azimuth na figura 3(b) possuem a letra A ao final do nome, por exemplo, o ponto M40A é o marco de azimuth do marco geodésico M40.



(a)



(b)

Fig. 3. Em (a) a distribuição geográfica dos marcos geodésicos da RRCM de Porto Alegre. Em (b) a localização dos marcos azimutais que também compõem a RRCM. Fonte: PMPA Imagem do Google Earth, 2014.

2.2.2 MAPGEO2010

O modelo geoidal MAPGEO2010 possui resolução de 5' e foi calculado utilizando mais de 900 mil pontos de gravimetria terrestre para a América do Sul e, no Brasil, um pouco mais de 13 mil novos pontos gravimétricos medidos, devidamente validados em relação ao MAPGEO2004, inseridos neste modelo (IBGE, 2010). O cálculo deste geoide é descrito em IBGE, 2010, sendo importante destacar que a técnica da transformada rápida de Fourier (FFT) foi a utilizada para o cálculo das ondulações geoidais.

As coordenadas E, N, foram transformadas em latitude e longitude utilizando o programa PROGRID desenvolvido pelo IBGE. Após, o arquivo foi formatado para gerar as ondulações geoidais no MAPGEO2010. A tabela 2 mostra 20 dos 94 pontos, suas respectivas coordenadas (ϕ , λ) e as ondulações geoidais geradas no MAPGEO2010.

TABELA 2. Latitude, longitude de 20 dos 94 pontos e suas respectivas ondulações geoidais (N), em metros, geradas no MAPGEO2010.

Ponto	Latitude (g, m, s)	Longitude (g, m, s)	N _{MAPGEO2010}
M-01	-30°02'40,422"	-51°13'57,987"	5,01
M-02	-30°03'23,338"	-51°13'55,453"	5,03
M-03	-30°04'51,902"	-51°14'47,452"	5,10
M-04	-30°06'08,875"	-51°15'33,224"	5,16
M-05	-29°58'02,516"	-51°08'40,015"	4,76
M-06	-30°00'24,090"	-51°11'30,625"	4,89
M-07	-30°00'51,001"	-51°10'26,973"	4,88
M-08	-30°02'11,362"	-51°11'14,067"	4,93
M-09	-30°04'22,526"	-51°09'47,847"	4,95
M-10	-30°03'45,438"	-51°12'46,721"	5,01
M-11	-30°01'52,658"	-51°13'09,799"	4,97
M-12	-29°59'02,834"	-51°11'19,355"	4,85
M-13	-30°00'46,433"	-51°08'23,810"	4,82
M-14	-30°00'25,027"	-51°06'36,211"	4,78
M-15	-30°01'59,418"	-51°06'27,662"	4,81
M-16	-30°02'28,234"	-51°08'28,274"	4,87
M-17	-30°04'36,198"	-51°07'29,241"	4,91
M-18	-30°05'56,822"	-51°06'46,303"	4,94
M-19	-30°04'46,212"	-51°11'07,161"	5,00
M-20	-30°05'54,059"	-51°08'44,461"	4,97

2.2.3 Earth Gravitational Model 2008 – EGM 2008

Os coeficientes dos modelos geopotenciais de alto grau e ordem tem amplo uso como referência para análises regionais e locais na determinação do geoide. Os modelos geopotenciais, conjuntos de coeficientes do potencial anômalo desenvolvido em harmônicos esféricos, são determinados pela integração de dados obtidos por uma grande variedade de instrumentos e técnicas observacionais. Estes modelos integram os sistemas de referência geodésicos e são usados rotineiramente como esferoides para a representação do campo de gravidade anômalo em alta resolução. 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 *et al.*, 2011).

Desta forma, neste estudo foram geradas as ondulações geoidais utilizando o EGM2008 com resolução dos coeficientes do potencial gravitacional em harmônicos esféricos completos, até o grau e ordem 2159. A tabela 3 mostra a latitude, longitude e a ondulação geoidal gerada no site do ICGEM (*International Centre for Global Earth Models*). Para o cálculo de N, dentre os parâmetros configurados cabe destacar: elipsoide de referência GRS80, o mesmo utilizado no modelo MAPGEO2010; sistema de maré permanente *tide-free* e o termo de grau zero dos esféricos harmônicos.

TABELA 3. Latitude, longitude de 20 dos 94 pontos e suas respectivas ondulações geoidais geradas utilizando o modelo EGM2008.

Ponto	Latitude (g, m, s)	Longitude (g, m, s)	N_{EGM2008}
M-01	-30°02'40,422"	-51°13'57,987"	4,604
M-02	-30°03'23,338"	-51°13'55,453"	4,626
M-03	-30°04'51,902"	-51°14'47,452"	4,693
M-04	-30°06'08,875"	-51°15'33,224"	4,751
M-05	-29°58'02,516"	-51°08'40,015"	4,367
M-06	-30°00'24,090"	-51°11'30,625"	4,480
M-07	-30°00'51,001"	-51°10'26,973"	4,469
M-08	-30°02'11,362"	-51°11'14,067"	4,528
M-09	-30°04'22,526"	-51°09'47,847"	4,570
M-10	-30°03'45,438"	-51°12'46,721"	4,615
M-11	-30°01'52,658"	-51°13'09,799"	4,561
M-12	-29°59'02,834"	-51°11'19,355"	4,444
M-13	-30°00'46,433"	-51°08'23,810"	4,421
M-14	-30°00'25,027"	-51°06'36,211"	4,370
M-15	-30°01'59,418"	-51°06'27,662"	4,411
M-16	-30°02'28,234"	-51°08'28,274"	4,475
M-17	-30°04'36,198"	-51°07'29,241"	4,521
M-18	-30°05'56,822"	-51°06'46,303"	4,541
M-19	-30°04'46,212"	-51°11'07,161"	4,614
M-20	-30°05'54,059"	-51°08'44,461"	4,594

Assim, para cada um dos 94 pontos, fez-se o cálculo dos resíduos das alturas geoidais,

$$N_r = N_1 - N_2 \quad (2)$$

para os quais se calcula a média residual $\bar{N}_r$,

$$\bar{N}_r = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n N_{r_i} \quad (3)$$

onde N_1 e N_2 são as alturas geoidais provenientes do EGM2008, MAPGEO2010 e GNSS.

A discussão e análises sobre os resultados encontrados são apresentados na seção 3.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

A avaliação da eficiência dos modelos, assim como a ocorrência ou não de uma componente sistemática foi feita através dos resíduos das alturas geoidais calculadas sobre os 94 pontos da RRCM. Para melhor visualização das discrepâncias resultantes, foram gerados três gráficos, um para cada diferença calculada: $\Delta N_{\text{GPS-MAPGEO2010}}$, $\Delta N_{\text{GPS-EGM2008}}$ e $\Delta N_{\text{MAPGEO2010-EGM2008}}$. A média das discrepâncias entre o N_{GPS} e o N_{EGM2008} foi de 71,6 centímetros enquanto que entre o N_{GPS} e $N_{\text{MAPGEO2010}}$ foi de 31,0 centímetros. Já a diferença média entre o $N_{\text{MAPGEO2010}}$ e o N_{EGM2008} foi de 40,6 centímetros. A tabela 4 apresenta os resultados encontrados.

TABELA 4. Resultado da componente sistemática obtida para os modelos geoidais EGM2008 e MAPGEO2010.

	$\Delta N_{\text{GPS-EGM2008}}$	$\Delta N_{\text{GPS-MAPGEO2010}}$	$\Delta N_{\text{MAPGEO2010-EGM2008}}$
Número de pontos	94	94	94
Mínimo (m)	0,550	0,135	0,376
Máximo (m)	0,911	0,469	0,454
Média (m)	0,716	0,310	0,406
Amplitude	0,361	0,333	0,078
Desvio padrão (m)	0,067	0,061	0,019

A figura 4 apresenta a diferença entre a N_{GPS} e a $N_{\text{MAPGEO2010}}$, onde as discrepâncias variam entre 0,14 e 0,50 metros enquanto que as diferenças entre o N_{GPS} e o N_{EGM2008} , na figura 5 apresentam diferenças maiores, variando de 0,55 a 0,91 metros.

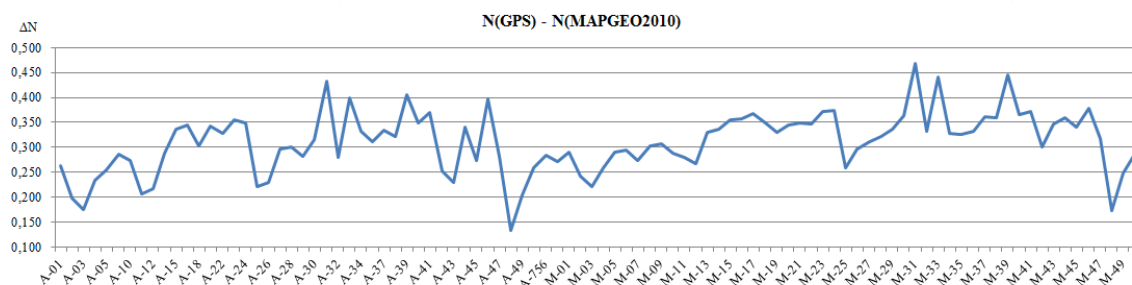


Fig. 4. Gráfico da diferença entre a altura geoidal (N_{GPS}) e a ondulação geoidal do MAPGEO2010 ($N_{\text{MAPGEO2010}}$).

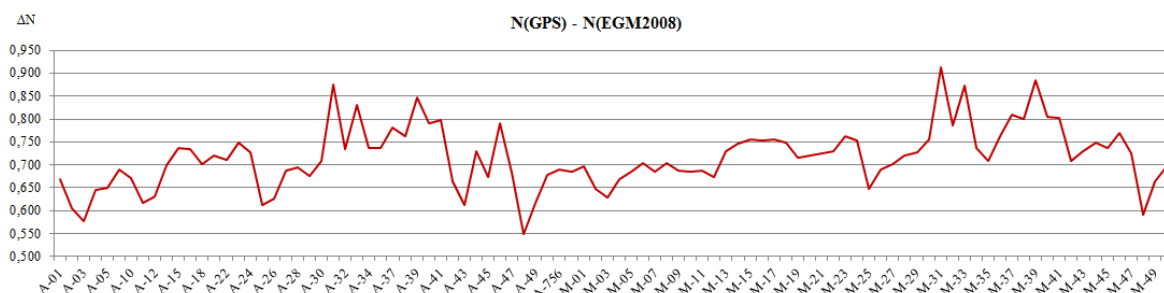


Fig. 5. Gráfico da diferença entre a altura geoidal (N_{GPS}) e a ondulação geoidal do EGM2008 (N_{EGM2008}).

Para estes pontos também foi calculada a diferença entre as ondulações geoidais dos modelos EGM2008 e MAPGEO2010. Espera-se que as discrepâncias tenham valores pequenos visto que o MAPGEO2010 utiliza em seu cálculo o EGM2008 até o grau e ordem 150. A figura 6 apresenta o gráfico com as diferenças calculadas.

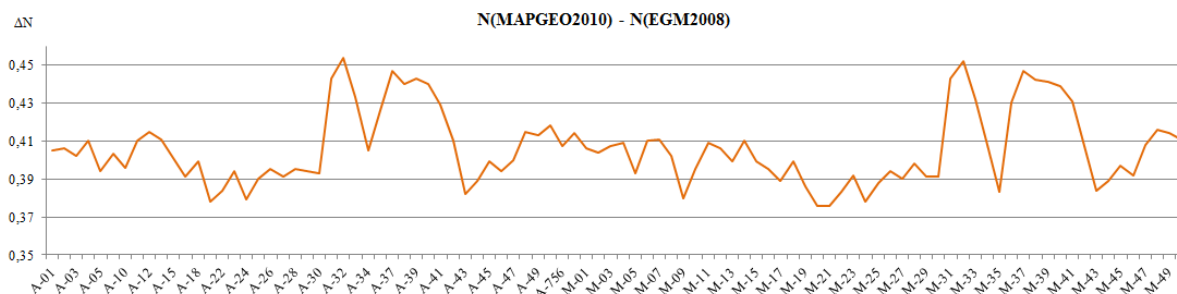


Fig. 6. Gráfico da diferença entre as ondulações geoidais dos modelos MAPGEO2010 ($N_{\text{MAPGEO2010}}$) e EGM2008 (N_{EGM2008}).

A diferença média encontrada entre a ondulação geoidal obtida via MAPGEO2010 e a ondulação calculada pelo modelo do EGM2008 é de 41 centímetros. Este é o exato valor do termo de grau zero dos dois modelos, por este motivo procurou-se na literatura a razão desta diferença constante. No texto disponibilizado pela NGA sobre o EGM2008, há referência sobre o EGM2008 versão WGS84 o qual é citada a aplicação da constante de -41 centímetros

para conversão das ondulações geoidais que estão referenciadas a um elipsoide médio da Terra ao elipsoide do WGS84 (MATOS *et al.*, 2012). Assim, as ondulações geoidais do EGM2008 foram recalculadas com os -41 centímetros. A tabela 5 apresenta os resultados.

TABELA 5. Resultado da componente sistemática obtida para os modelos geoidais EGM2008 e MAPGEO2010.

	$\Delta N_{\text{GPS-EGM2008}}$	$\Delta N_{\text{GPS-MAPGEO2010}}$	$\Delta N_{\text{MAPGEO2010-EGM2008}}$
Número de pontos	94	94	94
Mínimo (m)	0,140	0,135	-0,034
Máximo (m)	0,501	0,469	0,044
Média (m)	0,306	0,310	-0,004
Amplitude	0,361	0,333	0,078
Desvio padrão (m)	0,067	0,061	0,019

A média das diferenças entre as ondulações do MAPGEO2010 e do EGM2008 é de -4 milímetros. As discrepâncias entre o $\Delta N_{\text{GPS-EGM2008}}$ e o $\Delta N_{\text{GPS-MAPGEO2010}}$ passam a exibir valores semelhantes, onde a diferença mínima do $\Delta N_{\text{GPS-EGM2008}}$ é de 14 centímetros e a do $\Delta N_{\text{GPS-MAPGEO2010}}$ é de 13,5 centímetros.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou as alturas geoidais provenientes dos coeficientes de modelos do geopotencial e de geoides gravimétricos regionais, em relação ao novo geóide local GNSS da cidade de Porto Alegre (RS) assim como verificou as diferenças entre as alturas geoidais dos modelos EGM2008 e MAPGEO2010. Os modelos apresentaram comportamento semelhante, sendo a média do EGM2008 de 30,6 centímetros enquanto que para o MAPGEO2010 a média foi de 31,0 centímetros. Os desvios-padrão também resultaram em valores próximos, sendo de 0,067 metros para o EGM2008 e de 0,061 metros. Os resultados encontrados eram esperados, visto que o MAPGEO2010 utiliza em seus cálculos o EGM2008 de grau e ordem 150, além de os dois modelos utilizarem os mesmos parâmetros, como sistema de referência (elipsoide GRS80), sistema de maré *tide-free* e o termo de grau zero, no valor de 41 centímetros.

Este trabalho contribui com os demais trabalhos que têm sido desenvolvidos em outras regiões do Brasil, MELO *et al.* (2012) para o modelo EGM2008 encontra valor médio de 36 cm para o estado do Maranhão e Piauí enquanto que no presente experimento a média encontrada foi de 30,6 cm. Valores mais discrepantes foram encontrados em comparação ao MAPGEO2010, pois enquanto MELO *et al.* (2012) encontra valores médios de -0,52 m, o presente trabalho encontrou valores médios de 0,31 metros. Ainda, os resultados mostram a existência de uma componente sistemática ΔN com magnitudes similares para os dois modelos geoidais em relação à altura geoidal proveniente do nivelamento via GNSS.

Nesta primeira etapa a avaliação das discrepâncias foi feita pontualmente, as etapas futuras consistem em gerar superfícies geoidais, via interpolação, para os três modelos analisando se estas variações terão comportamento semelhante nas superfícies interpoladas. Esta etapa futura é importante, pois pode servir de base para tomada de decisão de usuários que necessitam de ondulação geoidal, mas que por alguma razão não dispõe do geóide calculado a partir de dados gravimétricos, neste caso, seria possível utilizar o modelo calculado a partir de observações GNSS locais? Se sim, qual o erro atrelado a este modelo? Esta primeira etapa verificou que a diferença média entre os modelos obtidos a partir de dados gravimétricos globais e regionais e o modelo local GNSS é de 31 centímetros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil por ceder os dados referentes à RRCM e à CAPES pela concessão de Bolsa de Mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANA, J. M.; ARANA, D. **Determinação de altitude ortométrica com uso da integração do GPS/nivelamento ao MAPGEO2010**. Colloquium Exactarum, v. 5, n. especial, p. 90, Jul – Dez, 2013.
- ANTÃO, M.; SEIXAS, A. de; MOTTA, J.; SANTOS, A. A. dos. **Desenvolvimento de uma metodologia para obtenção de altitudes ortométricas através de interpolação de modelos geoidais locais definidos por GPS e gravimetria**. In. Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2008. Anais. p. 000-000, 2008.
- GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba, Editora UFPR, 2002. 304p.

GOLDANI, D., GENRO, R. S., SALOMONI, R. **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, 2002. 54p.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. **Physical Geodesy**. New York, Springer Wien, 2005. 403 p.

IBGE. **Modelo de Ondulação Geoidal**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>. Acesso: 15 junho 2014.

MATOS, A. C. O. C. de; BLITZKOW, D.; GUIMARÃES, G. N.; LOBIANCO, M. C. B; COSTA, S. M. A.. **Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 18, n. 1, p. 101, Jan-Mar. 2012.

MELO, L. F. de S.; DE FREITAS, S. R. C. **Avaliação de modelos globais do geopotencial para os estados do Maranhão e Piauí**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 18, n. 2, p. 203, Abr-Jun. 2012.

NGA. **Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)**. Disponível em <<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>>. Acesso: 15 junho 2014.

SAATKAMP, E. D.; MORAES, C. V. de, FARRET, J. C. **Avaliação do modelo geoidal EGM2008 para o Brasil**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. Anais. p. 4303-4310, 2009.

SEVERO, T. C.; KLEIN, I.; SOUZA, S. F. de; MATSUOKA, M. T.; VERONEZ, M. R. **Eficiência das alturas geoidais obtidas de modelos geoidais gravimétricos e geopotenciais no município de Porto Alegre**. Scientia Plena, v. 7, n. 1, p. 1, Jan. 2011.

SEVERO, T. C.; SOUZA, S.F. de; MATSUOKA, M. T. **Posicionamento GPS sobre referências de nível no estado do Rio Grande do Sul**. In: Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2010. Anais. p. 001-005, 2010.