

Eficiência das alturas geoidais obtidas de modelos geoidais gravimétricos e geopotenciais no município de Porto Alegre

T. C. Severo¹, I. Klein¹, S. F. de Souza¹; M. T. Matsuoka¹; M. R. Veronez²

¹Laboratório de Pesquisas em Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre, Brasil

tiagofee@hotmail.com, ivandroklein@gmail.com, sergio.florencio@ufrgs.br, tomiomatsuoka@gmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Geologia, Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia (LASERCA), Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS

veronez@unisinos.br

(Recebido em 05 de outubro de 2005; aceito em 10 de outubro de 2005)

Este trabalho visa avaliar a representação dos modelos geoidais obtidos de dados diferentes, em tipo e precisão, para o município de Porto Alegre. Para tanto, foram utilizados os modelos do geopotenciais *Earth Gravitational Model 2008* (EGM2008), *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96), *GRACE Gravity Model* (GGM3C) e o *European Improved Gravity model of the Earth by New techniques* (EIGEN5C), e os geóides gravimétricos Mapa do Geóide 2004 (MAPGEO2004) e o Geóide Gravimétrico para América do Sul (GGAS). Os valores obtidos dos geóides gravimétricos e dos modelos do geopotencial foram comparados com valores das alturas geoidais determinadas pelo posicionamento por GPS (*Global Positioning System*) sobre 61 pontos de altitudes ortométricas conhecidas. Os resultados revelaram a presença de uma componente sistemática nos três últimos modelos de geopotencial, próxima à encontrada em outros países. Para o modelo EGM2008 houve uma significativa melhora nos resultados, mostrando excelente compatibilização com o geóide geométrico. Os modelos gravimétricos forneceram a componente sistemática de -11 cm (GGAS) e 31 cm (MAPGEO2004), respectivamente, condizentes com dados prévios.

Palavras-chave: Geóide Gravimétrico, Modelos do Geopotencial e Alturas Geoidais

The purpose of this work is to evaluate the representation of the geoid heights for the city of Porto Alegre, generated from different data types and precisions. The data employed came from the geopotential models EGM96, EIGEN5C, GGM3C, EGM2008 and the gravimetric geoids MAPGEO2004 and GGAS. The values obtained from the gravimetric geoids and geopotential models were compared with geoid height values determined by GPS satellite positions from 61 known orthometric point heights. The results reveal the presence of a systematic component in the EGM96, EIGEN5C and GGM3C geopotential models, closely resembling that of other countries. The EGM2008 presented a significant improvement with relation to the systematic component, showing excellent compatibility with GPS geoid heights. The gravimetric models GGAS and MAPGEO supplied a systematic component of -11 and 31 cm, respectively. These values are in agreement with the results found by the authors.

Keywords: Gravimetric Geoid, Geopotential Models And Geoid Heights.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da altitude ortométrica, imprescindível em várias atividades cotidianas, como mapeamentos, distribuição de água, saneamento e planejamento urbano, entre outras, praticamente não evoluiu durante os últimos cem anos e, até bem pouco tempo, não haviam alternativas para evitar os inconvenientes da demora e elevado custo do nivelamento clássico. Num país de dimensões continentais como o Brasil, estes problemas são ainda mais críticos. Além das dificuldades geográficas naturais, a implantação de uma rede de nivelamento que se estenda por todas as regiões do País e capaz de possibilitar o estabelecimento de uma distribuição geográfica adequada às necessidades, é economicamente inviável.

Atualmente vem sendo estudada a possibilidade de substituir os métodos tradicionais pelo uso do GPS, combinado com alturas geoidais obtidas a partir de modelos de alta resolução. Para tanto, dois requisitos são fundamentais: um modelo geoidal de alta precisão, compatível com o

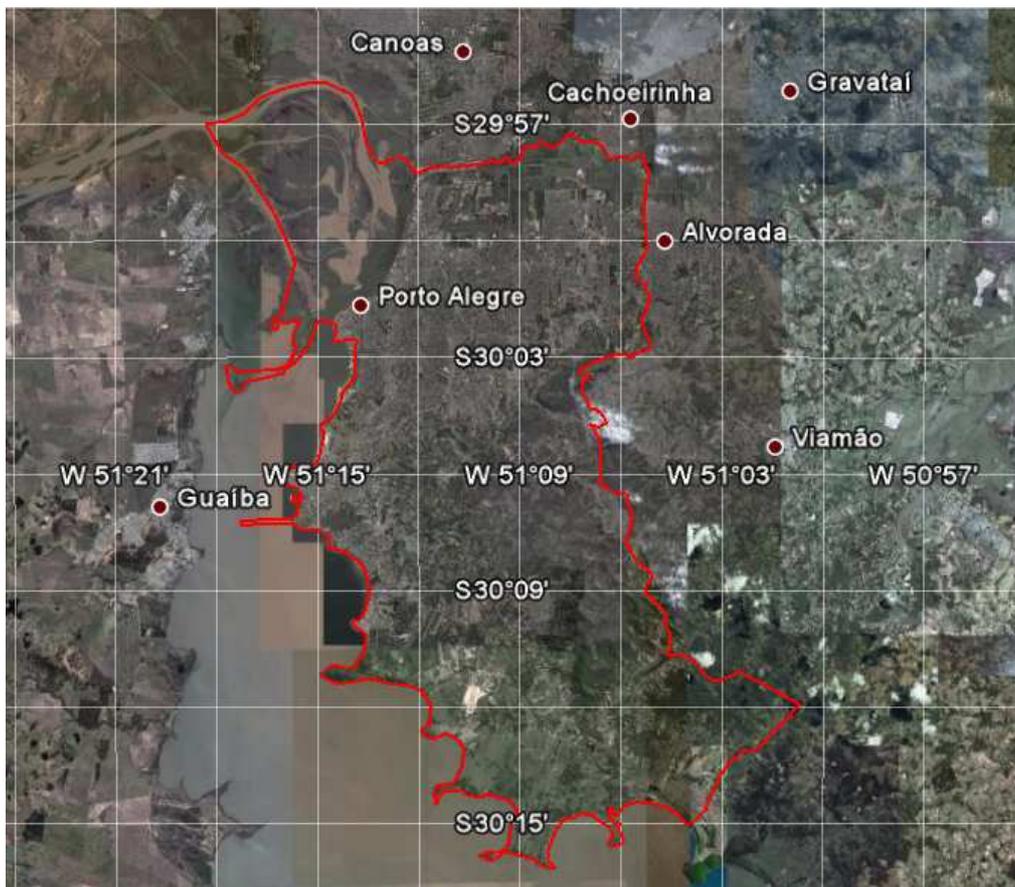
sistema altimétrico, ou um modelo do geopotencial com as mesmas características e uma rede GPS suficientemente densa que permita a aplicação dessa metodologia de forma eficiente.

Neste trabalho, buscou-se avaliar a eficiência da utilização de modelos do geopotencial, geóides gravimétricos regionais e locais, e ondulações geoidais determinadas a partir do posicionamento de referências de níveis, para a obtenção da altitude ortométrica. A escolha do município de Porto Alegre para esta investigação das alturas geoidais, obtidas de dados diferentes em tipo e precisão, foi motivada pelo acervo gravimétrico e cartográfico existente, essenciais para a modelagem e avaliação geoidal com precisão centimétrica, compatível com a precisão do posicionamento GPS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área Teste

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, incluída no levantamento (Figura 1).



Google Earth™ mapping service - copyright
Figura 1: Localização da área de Estudo

2.2 Dados Utilizados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram os coeficientes dos harmônicos esféricos dos modelos do geopotencial, os geóides gravimétricos regionais e as alturas geoidais obtidas com o posicionamento por GPS sobre referências de nível (RN).

- Modelos do Geopotencial

Os coeficientes dos modelos geopotenciais de alto grau e ordem tem amplo uso como referência para análises regionais e locais na determinação de geóide.

Nos últimos 60 anos, o contínuo refinamento da base teórica, em paralelo com o desenvolvimento dos recursos computacionais, contribuíram para o desenvolvimento dos coeficientes dos harmônicos esféricos, desde o grau e ordem 8, utilizado na década de 1940, passando pelo grau 360, empregado no final do século passado e, finalmente, atingindo graus e ordens iguais ou maiores que 2190 na atualidade. Dois avanços em particular merecem destaque para a melhora da qualidade dos modelos geopotenciais, o desenvolvimento dos satélites artificiais e a contribuição daqueles dotados de radar altimétrico.

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. Atualmente, os modelos digitais deste tipo integram os sistemas de referência geodésicos e são usados rotineiramente como esferóides para a representação do campo de gravidade anômalo em alta resolução. Como a distribuição geográfica dos dados gravimétricos existentes na determinação dos coeficientes melhorou significativamente em termos globais devido às missões de satélites artificiais, os modelos geopotenciais de alto grau e ordem tornaram-se mais eficientes na representação do campo de gravidade anômalo da superfície da Terra. Diante disto, sua utilização na determinação da altitude ortométrica vem sendo incentivada [19].

Os modelos geopotenciais podem ser avaliados através de qualquer componente do campo de gravidade anômalo que eles representam, desde que adequados para a resolução escolhida. Neste caso, as avaliações do modelo geopotencial podem ser realizadas através das anomalias gravimétricas ou alturas geoidais [19] [18]. Avaliações prévias realizadas para modelos do geopotencial, em áreas dos Estados Unidos, Canadá, Europa e Austrália, foram avaliadas em relação a altura geoidal, e permitem verificar a evolução de sua exatidão ao longo do tempo. Estes dados estão disponíveis no *GeoForschungsZentrum Potsdam* (GFZ), em [<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html>].

No Brasil, vêm sendo avaliados com relação a sua capacidade de representação, expressa formalmente pelo grau de desenvolvimento, através dos resíduos das anomalias gravimétricas e das alturas geoidais calculadas pelos métodos, comparadas com as obtidas diretamente das observações [18] [19] [21] [14] [26] [23].

Neste estudo, foram escolhidos modelos do geopotencial de alto grau, como o EGM96 [11], o EGM2008 [16], o GGM03C [28] e o EIGEN5C [8]. Após a avaliação aqui realizada, o modelo EGM2008 foi o único que apresentou uma resolução dos coeficientes do potencial gravitacional em harmônicos esféricos completo, até o grau e ordem 2159, e a conter coeficientes adicionais estendidos até o grau 2190 e ordem 2159. Os outros modelos geopotenciais são expressos por um conjunto de coeficientes calculados a partir de uma série de modelos de baixo grau e ordem (360), combinados com dados gravimétricos terrestres e oceânicos na forma de modelos digitais, e foram determinados a partir de um grande volume de dados, provenientes das missões CHAMP e GRACE. O EGM96 é o mais conhecido por estar associado ao sistema geodésico de referência WGS84. A representação da altura geoidal, para a área de estudo, foi na forma de modelos digitais, a partir dos coeficientes dos modelos do geopotencial EGM96, EGM2008, GGM03C e EIGEN5C.

- Geóides Gravimétricos Regionais

Na determinação da altitude ortométrica com auxílio do posicionamento por satélite é recomendada a utilização de modelos geoidais gravimétricos regionais, devido a esses modelos serem determinados a partir de elementos do campo de gravidade com maior densidade e distribuição, as anomalias gravimétricas. A determinação do geóide pode ser realizada a partir de várias técnicas, sendo as mais utilizadas, a colocação por mínimos quadrados, a integral de Stokes ou a transformada de Fourier. Estes modelos geoidais costumam apresentar maior resolução que os modelos geopotenciais descritos anteriormente, mas fornecem uma informação geoidal de caráter regional que não considera os efeitos locais [13] [24].

Para avaliar sua eficiência em caráter local, foram escolhidos o modelo geoidal gravimétrico MAPGEO2004 [12] e o GGAS [20]. A altura geoidal, para a área de estudo, foi representada na forma de modelos digitais. O MAPGEO2004 apresenta uma resolução de 10' de arco, e em seu cálculo foi empregada a integral modificada de Stokes, através da técnica de transformada rápida de Fourier (FFT). Os dados de entrada são constituídos pelas anomalias médias de Helmert em quadrículas de 10'x10' para áreas continentais obtidas a partir de informações gravimétricas do IBGE e de diversas instituições no Brasil e em países vizinhos. Também foram usadas as anomalias ar-livre derivadas da altimetria provenientes da missão ERS e GEOSAT, modelo KMS99, o modelo digital de terreno de 1'x 1' desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e o modelo de geopotencial EGM96. O erro (diferença) médio padrão associado ao modelo MAPGEO2004 foi de $\pm 0,5$ m, determinado a partir das comparações de altitudes GPS/nivelamento. Erros maiores que 0,5 m podem ocorrer em regiões onde existe carência de informações, como por exemplo, na região Amazônica [12].

Já o modelo GGAS, apresenta resolução espacial de 5' em latitude e longitude. Na representação do esferóide de alta resolução foi usado o modelo geopotencial EGM96, combinado com dados do campo de gravidade da Terra e modelos topográficos digitais. As alturas geoidais, expressas a partir das anomalias de altitude, envolveram a componente fornecida pelo EGM96 até o grau e ordem 360. A componente residual foi calculada através da colocação por mínimos quadrados, usando funções covariâncias planas, sendo o efeito indireto, determinado com aplicação da FFT. A componente que transforma anomalia de altitude em altura geoidal foi obtida a partir da anomalia Bouguer e do modelo topográfico.

O modelo geoidal gravimétrico obtido com essa metodologia foi avaliado em relação às alturas geoidais determinadas por GPS, combinado com o nivelamento geométrico em cerca de 780 RNs pertencentes às redes altimétricas fundamentais do Brasil, Uruguai, e da Argentina. Na análise estatística realizada por [20], foi obtida uma componente sistemática de -15 cm e um desvio padrão de 44 cm.

- Alturas Geoidais

Para contrapor as técnicas anteriores é comum a determinação de alturas geoidais a partir do posicionamento GPS sobre referências de níveis e muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com esta técnica [2] [15] [17] [25] [29] [1] [22] [3] [9] [4] [24]. As coordenadas cartesianas (X,Y,Z) do ponto, fornecidas pelo GPS, podem ser transformadas em coordenadas geodésicas de latitude (ϕ), longitude (λ) e altura geométrica (h), com precisão milimétrica. Combinadas com a altitude ortométrica (H) ou altura geoidal (N), estas coordenadas proporcionam as seguintes aplicações geodésicas do GPS: i) a determinação da altura geoidal ($N=h-H$), usando-se da altitude ortométrica resultante do nivelamento geométrico convencional; ii) a determinação da altitude ortométrica ($H=h-N$), usando-se da altura geoidal obtida a partir da topografia e de elementos do campo de gravidade, ou através dos coeficientes do modelo geopotencial e, ainda, a partir de modelos de superfícies obtidos do rastreamento GPS sobre RNs. A rede altimétrica existente no município de Porto Alegre tem como referência as RNs do [10], que embora relativamente novas e numerosas, desapareceram em grande parte pelas atividades de urbanização. Mas ainda assim, a quantidade de marcos e chapas disponíveis para a realização desse tipo de trabalho é superior a 350, e permitiram a implantação de uma rede GPS de apoio básico, em termos de

coordenadas geodésicas e altitude ortométrica, e a avaliação de geóides gravimétricos. Do montante disponível, foram escolhidas 61 RNs, distribuídas por todo o município, conforme pode ser vista na Figura 2.

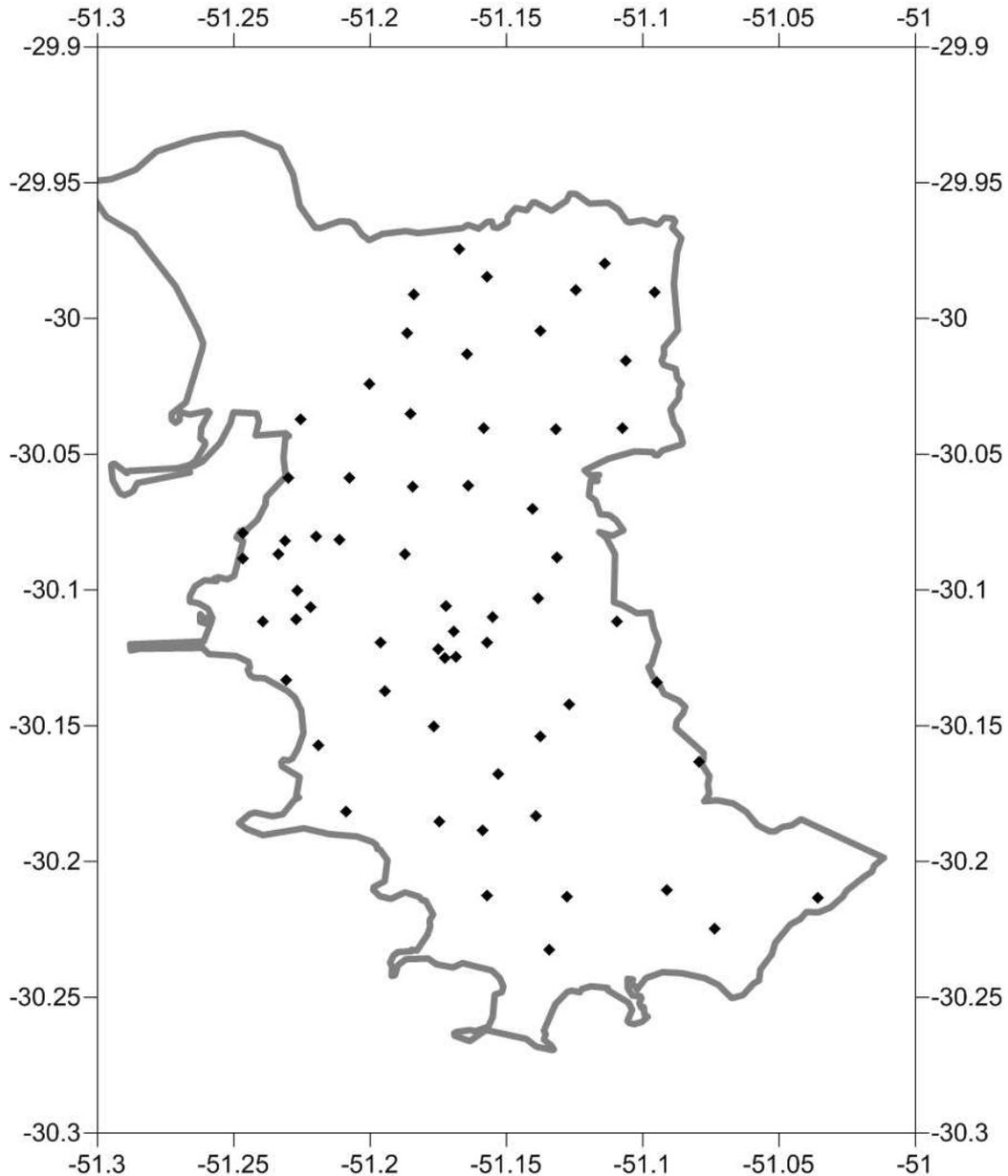


Figura 2 – Distribuição das Alturas Geoidais GPS na área de estudo
Fonte: [10]

3. AVALIAÇÃO ABSOLUTA DAS ALTURAS GEOIDAIAS

A avaliação adotada consiste na comparação das alturas geoidais obtidas por duas técnicas diferentes. A análise é realizada a partir da determinação de diferenças entre as alturas geoidais obtidas de geóides gravimétricos ou dos coeficientes de modelo do geopotencial, com as alturas geoidais obtidas através do posicionamento por satélites GPS, sobre referências de níveis, na qual se conhece as altitudes ortométricas. As diferenças encontradas são chamadas de *componente sistemática* do geóide, que tem como causas mais prováveis as inconsistências dos

data altimétricos, afetados pela topografia oceânica, salinidade, modelos topográficos; a falta de uma cobertura gravimétrica adequada, entre outros. Tomando-se como exemplo o problema da utilização de diferentes *data*; sejam dados dois sistemas geodésicos de referência GRS80 e WGS84, com as suas respectivas constantes gravitacionais geocêntricas, respectivamente, GM_{GRS80} e GM_{WGS84} ($3,986005 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ e $3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$), produzem diferentes modelos geoidais [$N_{GRS80} - N_{WGS84} \cong 0,93 \text{ m}$]. Portanto, neste trabalho optou por referir os dados utilizados ao sistema geodésico WGS84, utilizado pelo GPS. Nos testes serão avaliados os modelos geopotenciais e os geóides gravimétricos regionais, com o geóide geométrico obtido a partir do posicionamento GPS sobre referências de níveis. Comparando as alturas obtidas, obtêm-se os seguintes vetores residuais da forma,

$$N_r = N_1 - N_2 \quad (1)$$

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

$$\bar{N}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{r_i} \quad (2)$$

e a variância residual ($\sigma_{N_r}^2$),

$$\sigma_{N_r}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N}_r)^2 \quad (3)$$

onde N_1 e N_2 são as alturas geoidais provenientes de diferentes tipos de dados.

A utilização deste tipo de informação é essencial na determinação de geóides locais, utilizados na determinação de altitudes ortométricas, a partir das altitudes geométricas obtidas com o posicionamento por satélite, em áreas que abrange, em geral, algumas dezenas de quilômetros. Outra possibilidade é integrar as informações obtidas por nivelamento geométrico e GPS, com os modelos do geopotencial, para melhorar a representação do geóide na região de interesse.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência dos modelos foi avaliada através dos resíduos das alturas geoidais calculadas, sobre os pontos de uma distribuição geográfica regular com intervalo de $0,001^0$, em latitude e longitude. Como foi dito anteriormente, a análise foi realizada com dados de 61 pontos. Surpreendentemente, o EGM2008 apresentou a menor componente sistemática ($-0,024\text{m}$) dentre os modelos avaliados, sendo que esse resultado deve ser considerado apenas para a área do município de Porto Alegre, e com os dados utilizados nesse estudos; o que pode não se repetir para outras áreas. O EGM96, fundamental para os usuários de GPS, pois é o modelo terrestre de referência do Sistema Geodésico *World Geodetic System 1984* (WGS84), e geralmente disponível nos *software* comerciais de processamento de dados GPS, apresentou uma componente sistemática de $0,264 \text{ m}$. O EIGEN5C e o GGM3C, apresentaram $0,254\text{m}$ e $0,121\text{m}$, respectivamente. Estas diferenças ficam próximas aos valores estimados para as diferenças entre as alturas geoidais obtidas com GPS e dos modelos obtidos, para outras regiões da Terra (Tabela 2). Entre os modelos gravimétricos avaliados, o GGAS apresentou uma componente sistemática da ordem de $0,117\text{m}$ e para o MAPGEO2004, o valor encontrado foi de $0,310\text{m}$. Os valores obtidos para o modelo GGAS mostram a presença de uma componente sistemática menor do

que a do modelo MAPGEO2004, que pode estar relacionada, entre outras causas, à utilização de metodologias diferentes na sua determinação, a quantidade e distribuição dos dados usados na geração do modelo gravimétrico digital ou ao truncamento do modelo do geopotencial.

Tabela 1 - Resultados da componente sistemática obtida para os modelos geoidais EGM2008, EGM96, GGM3C, EIGEN5C, GGAS e MAPGEO2004

	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{EGM2008}}$	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{EGM96}}$	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{GGM3C}}$	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{EIGEN5C}}$	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{GGAS}}$	$\Delta N_{N_{GPS}-N_{MAPGEO2004}}$
No. de pontos	61	61	61	61	61	61
Mínimo (m)	-0,191	0,065	-0,078	0,057	-0,051	0,078
Máximo (m)	0,290	0,538	0,401	0,531	0,458	0,647
Média (m)	-0,024	0,264	0,121	0,254	0,117	0,310
Variância (m ²)	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007	0,009
Desvio Padrão (m)	0,081	0,084	0,083	0,088	0,087	0,098

Tabela 2 - Resultados encontrados para a componente sistemática para os modelos geoidais EGM2008, EGM96, GGM3C E EIGEN5C em diferentes regiões da Terra pelo GFZ

MODELO DO GEOPOTENCIAL	N_{MAX}	USA 6169 PONTOS	CANADÁ 1930 PONTOS	EUROPA 1235 PONTOS	AUSTRÁLIA 201 PONTOS
GGM03C	360	0,346 m	0,279 m	0,334 m	0,259 m
EIGEN-5C	360	0,341 m	0,251 m	0,303 m	0,244 m
EGM2008	2190	0,248 m	0,126 m	0,208 m	0,217 m
EGM96	360	0,379 m	0,357 m	0,478 m	0,297 m

Os parâmetros estatísticos das diferenças absolutas calculadas para os pontos (Tabela 1) mostram que os modelos do geopotencial são coerentes com os resultados obtidos em outros países, a partir de avaliações similares [5] [6], comprovadas pelos resultados obtidos pelo GFZ (Tabela 2). A única exceção, mais uma vez, se refere ao EGM2008, que mostrou uma maior compatibilidade com os dados GPS, que os demais modelos avaliados.

5. CONCLUSÃO

O principal objetivo do presente trabalho foi avaliar as alturas geoidais provenientes de coeficientes de modelos do geopotencial e geóides gravimétricos regionais, visando sua aplicação no nivelamento por satélite. Devido à dificuldade da disponibilização de geóides gravimétricos locais com precisão compatível com a proporcionada pelo GPS foram escolhidos os modelos do geopotencial EGM2008, EGM96, GGM3C, EIGEN5C e os geóides gravimétricos MAPGGEO2004 e GGAS.

Os modelos geopotenciais EGM2008, EGM96, EIGEN5C, GGM3C proporcionam, de acordo com as estimativas do GFZ, acurácia nas determinações de ondulações geoidais diferentes em várias regiões da superfície terrestre. Neste experimento, estes modelos apresentaram valores para a média diferente de zero, na ordem de -0,024 m, 0,264m, 0,254m e 0,121m respectivamente.

Os geóides gravimétricos MAPGEO2004 e GGAS apresentaram para a média os seguintes valores 0,310m e 0,117m. O MAPGEO2004 proporciona, de acordo com as estimativas de seus autores, acurácia nas determinações de ondulações geoidais, de aproximadamente 0,50m e o GGAS de 0,15m, o que se aproxima das avaliações realizadas pelos autores. Apesar da pequena amostra de dados, os resultados mostraram a existência de uma componente em ΔN . As diferenças encontradas tanto para os modelos do geopotencial, quanto para os geóides gravimétricos regionais e locais evidenciam que em breve esses modelos poderão ser usados no nivelamento por satélite através do GPS, dependendo do interesse do usuário. A comparação de resultados com diferentes técnicas constitui uma estratégia recomendável para avaliar a consistência da representação do campo de gravidade em qualquer escala.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio ao projeto mais amplo de determinação e avaliação de geóides gravimétricos (Projeto 306862/2008- 5) e pela Bolsa de Iniciação Científica. Agradecimentos também ao programa IC/Voluntário UFRGS.

-
1. ARANA, J. M. *O uso de GPS na elaboração de carta geoidal*. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 180 p. (2000).
 2. BRANDÃO, A.C. Carta Geoidal dos Municípios de Salvador e Lauro de Freitas - Bahia - Resultados Preliminares. In: *XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Recife. *Anais* em CD-ROM, pp. 1-6. (1999).
 3. CASTRO, A. L. P. *Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, 175p. (2002).
 4. CERQUEIRA, J.A.C. *Determinação de uma superfície geoidal local através do posicionamento GPS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 139p. (2006).
 5. CLAESSENS, S.J., FEATHERSTONE, W.E.; ANJASMARA, I.M. (in press). Is Australian data really validating EGM2008, or is EGM2008 just in/validating Australian data? In: MERTIKAS, S. (ed.) *Gravity Geoid and Space Missions*, Springer, Berlin Heidelberg New York. Disponível em <http://www.cage.curtin.edu.au/~will/publications.html>. (2009).
 6. DAWOD, G., MOHAMED, H.; ISMAIL, S. Evaluation and Adaptation of the EGM2008 Geopotential Model along the Northern Nile Valley, Egypt: Case Study. *ASCE Journal of Surveying Engineering*, 118(3): 1-16. (2009).
 7. FIELDER, J. Orthometric heights from Global Positioning System. *Journal of Surveying Engineering*, 118(3):70-78. (1992).
 8. FÖERSTE, C.; FLECHTNER, F.; SCHMIDT, R.; STUBENVOLL, R.; ROTHACHER, M.; KUSCHE, J.; NEUMAYER, K.-H.; BIANCALE, R.; LEMOINE, J.-M.; BARTHELMES, F.; BRUINSMA, J.; KOENIG, R.; MEYER, U. EIGEN-GL05C - A new global combined high-resolution GRACE-based gravity field model of the GFZ-GRGS cooperation. In: GENERAL ASSEMBLY EUROPEAN GEOSCIENCES UNION, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, 10, Abstract No. EGU2008-A-06944. (2008).
 9. FOTOPOULOS, G.; KOTSAKIS, C.; SIDERIS, M. G. 2003. How accurately can we determine orthometric height differences from GPS and Geoid Data? *Journal of Surveying Engineering*. 29(1):1-10. (2003).
 10. GOLDANI, D., GENRO, R. S., SALOMONI, R.; MAGRO, F. H. S. 2004. Determinação de um modelo geoidal local para o Município de Porto Alegre. Simpósio de Ciência Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (1.: 2004 : Recife, PE). *Anais*. Recife, PE: UFPE.
 11. LEMOINE, F.G.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K.; TRIMMER, R.G.; PAVLIS, N.K.; COX, C.M.; KLOSKO, S.M.; LUTHCKE, S.B.; TORRENCE, M.H.; WANG, Y.M.; WILLIAMSON, R.G.; PAVLIS, E.C.; RAPP, R.H. & OLSON, T.R. The development of joint NASA GSFC and NIMA geopotential model EGM96. *NASA/TP 206861*. (1998).
 12. LOBIANCO, M.C.B., BLITZKOW, D., MATOS, A.C.O.C. O Novo Modelo Geoidal para o Brasil. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba. PR. *Anais* em CD-ROM. pp.1-8. (2005).

-
13. MAGRO, F. H. S.; PEREIRA, J. A. 1989. Levantamento gravimétrico do município de Porto Alegre. In: XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Anais em CD-ROM. pp. 132-140.
 14. MOLINA, E.C. Avaliação preliminar do modelo geopotencial EGM96 no território brasileiro. International. *Geoid Service Bulletin*, 9:63-72. (1999).
 15. OLIVEIRA, K.C.L.; THOMAZ, H.R.; MONICO, J.F.G. Modelo geoidal local para a região de Presidente Prudente. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19, Recife. Anais em CD-ROM, pp. 1-8. (1999).
 16. PAVLIS, N.K., HOLMES, S.A.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. In: *General Assembly of the European Geosciences Union*, Vienna, Austria, pp. 13-18. (2008).
 17. ROMÃO, V.M.C.; PORTUGAL, J.L.; ANDRADE, E.D.V. de. 1999. Estudo do uso do GPS na definição de uma superfície geoidal local. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19, Recife. Anais em CD-ROM, pp. 1-8. (1999).
 18. SÁ, N.C.de. Modelos estatísticos e representação integrada do campo de gravidade no Brasil. *Tese de Doutorado*, Instituto Astronômico, Geofísico e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 219pp. (1988).
 19. SÁ, N.C.de. Testes sobre a eficiência de Modelos Geopotenciais no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 14, Rio de Janeiro, Anais em CD-ROM, pp. 268-77. (1993).
 20. SÁ, N. C. de. O Geóide Gravimétrico na América do Sul Obtido com Uso da Colocação por Mínimos Quadrados. In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé, Rio de Janeiro, Anais em CD-ROM. A0501. (2005).
 21. SÁ, N.C. de; MOLINA, E. C. O Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo: Resultados Preliminares. In: XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Salvador, Anais em CD-ROM, 1: 124-133. A9502. (1995).
 22. SÁ, N.C.de; MONICO, J.F.G.; KRUEGER, C.P.; SOUZA, S.F.de; CASTRO, A.L.P.de & VIEIRA, C.D. Rede GPS no Estado de São Paulo: *potencialidades, desafios e estratégias*. XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Porto Alegre - RS, Anais em CD-ROM. A0106. (2001).
 23. SAATKAMP, E.D.; MORAES, C. V. DE.; FARRET, J. C. Avaliação do modelo geoidal EGM2008 para o Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14, Natal, Anais em CD-ROM, pp. 4303-4310. (2009).
 24. SANTOS, N. P.; ESCOBAR, I. P. Determinação gravimétrica do geóide na região do município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(1):50-62. (2000).
 25. SILVA, A.S.; SILVA, M.C. da; ROMÃO, V.M.C.; COELHO, L.Z. Mapa geoidal local usando GPS. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife. Anais em CD-ROM, pp. 1-8. (1999).
 26. SOUZA, S. F.; SÁ, N. C. de. SOBRE O NOVO MODELO DO GEOPOTENCIAL EGM2008. In: Souza, S.F; Matsuoka, M.T.. (Org.). *Série em Geomática: 10 anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS*. 2 ed. Porto Alegre: Instituto de Geociências, 2008, v. 1, p. 67-73. (2007).
 27. SOYCAN, M.; SOYCAN, A. Surface modeling for GPS-levelling geoid determination. *Newton's Bulletin*, 1:44-54. (2003).
 28. TAPLEY, B.; RIES, J.; BETTADPUR, S.; CHAMBERS, D.; CHENG, M.; CONDI, F.; GUNTER, B.; KANG, Z.; NAGEL, P.; PASTOR, R.; PEKKER, T.; POOLE, S.; WANG, F. "GGM02 - An improved Earth gravity field model from GRACE", *Journal of Geodesy*, 79:467-478, doi:10.1007/s00190-005-0480-z. (2005).
 29. VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; ERBA, D.A.; SEGANTINE, P.C.L.; THUM, A.H. Ajuste automatizado de um modelo matemático para a determinação de ondulações geoidais no campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS/RS. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife. Anais em CD-ROM, pp. 1-8. (1999).
-