

Comparação das Alturas Geoidais em RRNN do IBGE no Município de Salvador usando diferentes versões do MAPGEO

Lailson Rodrigues Miranda¹, Daniel Nadier Cavalcanti Reis², Joelson Cristino Almeida dos Santos³, Artur Caldas Brandão⁴, Elmo Leonardo Xavier Tanajura⁵

¹Estudante, Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, UFBA, BA, lailson.miranda@gmail.com

²Engº Agrimensor e Cartógrafo, UFBA, BA, danielnadier@hotmail.com

³Estudante, Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, UFBA, BA, joelson.topografia@hotmail.com

⁴ Engº Agrimensor, Professor da UFBA, Salvador, BA, acaldas@ufba.br

⁵ Engº Agrimensor, Professor da UFBA, Salvador, BA, elmo.tanajura@ufba.br

RESUMO: Este trabalho tem por finalidade realizar uma comparação entre os valores das alturas geoidais em “referências de nível” oficiais (RRNN do IBGE), calculadas pelas diferenças entre as altitudes ortométricas e as altitudes elipsoidais, com os respectivos valores de altura geoidal obtidas nas versões do MAPGEO/IBGE 2004, 2010 e 2015. Como estudo de caso foram utilizadas as RN do IBGE que possuem rastreios de GNSS geodésico e localizadas no município de Salvador-BA.

PALAVRAS-CHAVE: Altura Geoidal, Geoide, MAPGEO.

INTRODUÇÃO: Com o surgimento de novas tecnologias, o *Global Navigation Satellite System* (GNSS) vem revolucionando as atividades que necessitam de posicionamento tridimensional, muito por conta da rapidez, eficácia e precisão na obtenção dos resultados. Entretanto, algumas atividades específicas na engenharia necessitam da altitude ortométrica, que é uma altitude relacionada a um geoide, ou seja, referida a uma superfície equipotencial do nível médio dos mares e obtidas por métodos clássicos de nivelamento geométrico ou trigonométrico. Apesar do GNSS ser um sistema de posicionamento tridimensional, as altitudes fornecidas pelos seus receptores estão relacionadas a um elipsoide de referência, denominadas de altitude elipsoidal ou altitude geométrica. Sendo assim, faz-se necessário obter a distância entre as superfícies do geoide e do elipsoide, mais conhecida como altura geoidal ou ondulação geoidal. Para se obter a altitude ortométrica através do posicionamento GNSS, portanto, torna-se necessário, também, conhecer o comportamento da ondulação geoidal na área de interesse. Com o intuito de conhecer o comportamento da ondulação geoidal no território brasileiro e disponibilizar um modelo geoidal confiável para aplicações nas áreas de engenharia e mapeamento, o IBGE, através da Coordenação de Geodésia e pela Escola Politécnica de São Paulo, desenvolveu o MAPGEO – *software* de interpolação de alturas geoidais. Desde a sua primeira versão, em 1992, o MAPGEO já passou por três atualizações, em 2004, 2010 e 2015, sendo essa última a mais recente.

MATERIAL E MÉTODOS: O local de estudo do trabalho está situado dentro do município de Salvador no Estado da Bahia. Foram utilizadas Referências de Nível (RRNN) pertencentes a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), disponíveis no banco de dados do IBGE, em <<http://www.ibge.com.br/home/geociencias/geodesia/sgb.shtm>>. A partir dos relatórios das estações geodésicas foi possível selecionar as RRNN que possuem informações de medições com receptores GNSS geodésico, pois os mesmos possuem os valores das altitudes geométricas e das altitudes ortométricas, o que permite obter diretamente os valores da altura geoidal (N). Foram selecionadas 25 RRNN do IBGE com coordenadas geodésicas, altitude geométrica (h), e altitude ortométrica (H), possibilitando a obtenção da altura geoidal: $N=h-H$. Na Figura 1 é possível observar a distribuição espacial das RRNN utilizadas. As superfícies de referências são de grande importância para o entendimento das superfícies geoidais, pois as suas definições tomam como referência a forma da Terra e seu campo de gravidade (SANTOS, 2012). Segundo Gemael (2002), um geodesta sistematicamente estará envolvido com três superfícies, sendo elas: a) a superfície física da

Terra, palco das operações geodésicas, dos levantamentos topográficos e realização das obras de engenharia; b) superfície do modelo geométrico ou superfície de referência onde são efetuados os cálculos geodésicos; c) o geoide, que é uma superfície equipotencial do campo gravitacional que mais se aproxima do “nível médio dos mares não perturbados” estendido ao longo do continente. Blitzkow e De Freitas (2004) também definem o geoide com a forma atribuída à Terra, limitada pela superfície geoidal e materializada pela superfície equipotencial que coincide com o nível médio dos mares não perturbados. No Brasil, a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB, adota como superfície de referência o geoide passante pelo marégrafo do Porto Henrique Lages, na cidade de Imbituba-SC, que indica o Nível Médio do Mar (NMM) local para a época em que foi determinado. A RAAP clássica é realizada por meio das altitudes de RRNN que estabelecem a relação entre as superfícies física e geoidal (CHUERUBI, 2013). Para o cálculo das alturas geoidais no sistema de referências SIRGAS2000, utilizou-se o sistema de interpolação geoidal MAPGEO, desenvolvido pelo IBGE e disponibilizado em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/oq_uee_geoide.shtml>. O MAPGEO é um aplicativo computacional que fornece a altura geoidal (N) utilizada na conversão das altitudes geométricas obtidas por técnicas de posicionamento espacial (GNSS), em altitudes consistentes com o NMM e a RAAP do Sistema Geodésico Brasileiro. Com o sistema de interpolação, disponibilizado juntamente com o modelo de ondulação geoidal, os usuários poderão obter a altura geoidal de um ponto ou um conjunto de pontos do território brasileiro a partir de suas coordenadas planimétricas sem a necessidade de introdução da altitude geométrica. O aplicativo MAPGEO vem sendo desenvolvido com o passar dos anos e já apresenta 4 versões (MAPGEO1992, MAPGEO2004, MAPGEO2010 e MAPGEO2015). O MAPGEO2015 é a versão mais recente, calculado com uma resolução de 5' de arco e abrange uma área compreendida pelas latitudes de 6°N e 35°S e pelas longitudes de 75°W e 30°W referenciadas ao SIRGAS2000. O MAPGEO2015 foi avaliado utilizando as alturas geoidais obtidas pela diferença entre as altitudes ortométricas oriundas do nivelamento geométrico de 592 referências de nível (RRNN) em conexão com pontos cujas altitudes elipsoidais foram obtidas por técnica GNSS. Tais pontos foram selecionados através de criterioso estudo realizado na RAAP, identificando as conexões pertencentes a linhas de nivelamento fechadas e, conseqüente, valores de altitudes ajustados pelo IBGE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A partir dos dados oficiais (IBGE) das altitudes ortométricas (H) e das altitudes elipsoidais (h) constantes nas monografias das RRNN na base de dados do IBGE, foram realizados os cálculos para obter os valores das alturas geoidais calculadas (N_c). Depois foram determinados os valores das alturas geoidais do MAPGEO (N_m) para cada RN utilizada no experimento nas diferentes versões do aplicativo, MAPGEO2004, MAPGEO2010 e MAPGEO2015. Esses valores são encontrados no MAPGEO com a inserção das coordenadas pelo usuário no aplicativo que poderá ser manual ou arquivo *.txt dispensando as informações relacionadas as altitudes ortométricas e geométricas de cada ponto. Para as versões mais antigas como o MAPGEO2004 é possível selecionar o sistema de referência SAD69 e SIRGAS2000, porém na versão mais atualizada MAPGEO2015 todas as informações estão referentes apenas ao sistema de referência SIRGAS2000. Com os devidos procedimentos executados foi possível organizar todos os dados numa planilha Excel (Tabela 1) com os devidos valores das alturas geoidais calculadas (N_c) e os valores dos N_m obtidos através do emprego de cada versão do MAPGEO, referentes ao sistema de referência SIRGAS2000. Portanto, para se realizar uma melhor análise dos dados em questão, foi pressuposto que os valores calculados dos N_c obtidos através dos valores de H e de h das RRNN do IBGE serão os valores de referência e que possivelmente apresentam uma melhor qualidade e uma incerteza menor no valor da altura geoidal para o ponto analisado. Sendo assim todos os valores de N_m obtidos através da interpolação usando as diferentes versões do MAPGEO 2004, 2010 e 2015, foram relacionados com os valores calculados ($N_c = h - H$), como mostram as Figuras 1 e 2 e a Tabela 1.

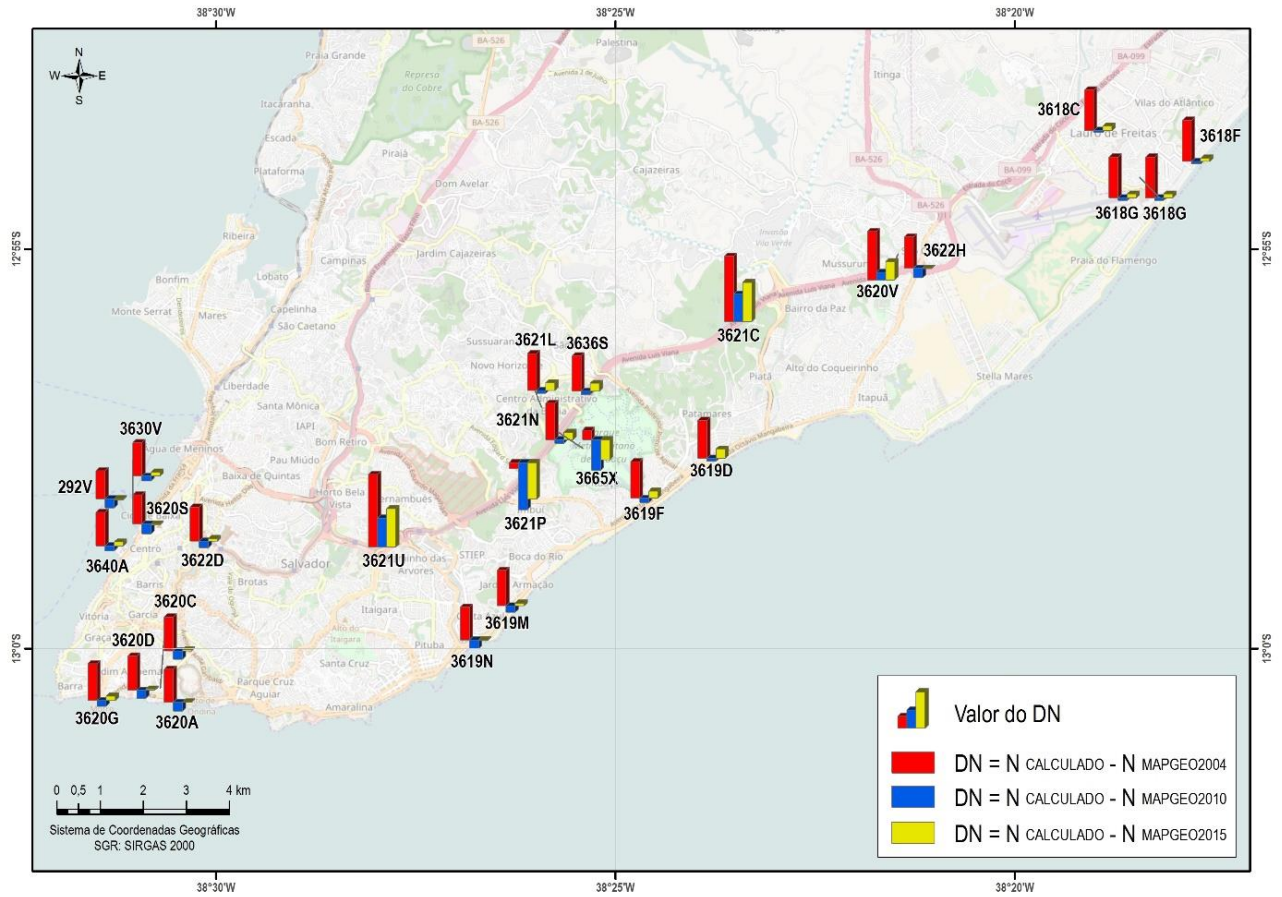


Figura 1 – Distribuição espacial das RRNN do IBGE em Salvador-BA usadas no estudo de caso

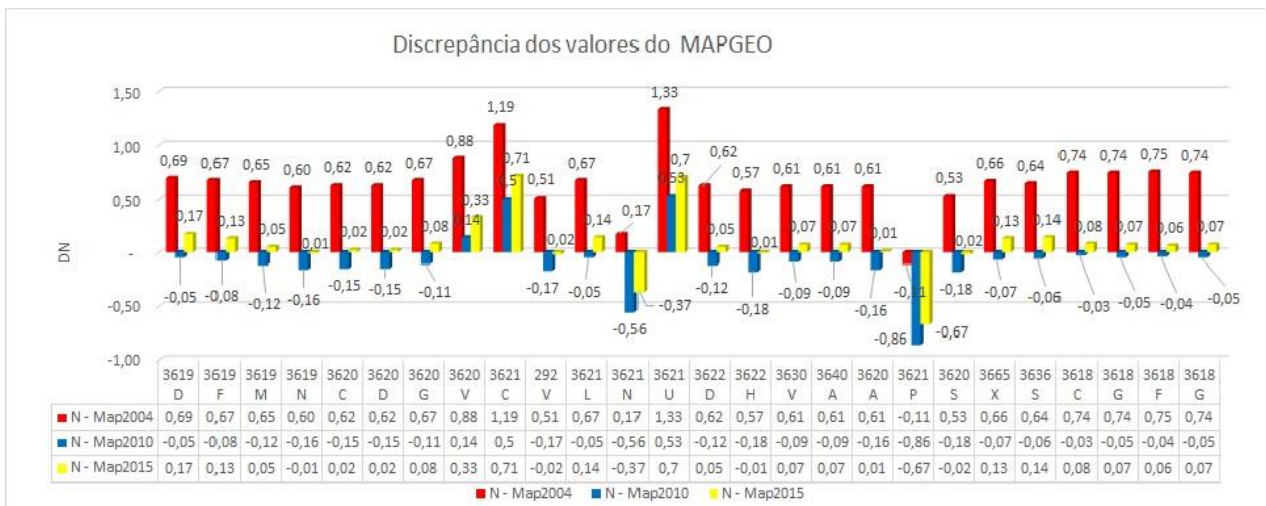


Figura 2: Discrepâncias entre os valores $N_{calculado}$ e N_{mapgeo}

Tabela 1 – Valores de N e DN calculados

| Estação | Alt. Geom. (h) | Alt. Orto. (H) | N _c calculado (N _c =h-H) | N _m MAPGEO 2004 | N _m MAPGEO 2010 | N _m MAPGEO 2015 | DN 2004 | DN 2010 | DN 2015 |
|---------|----------------|----------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 3619D | -4,81 | 5,8578 | -10,67 | -11,36 | -10,62 | -10,84 | 0,69 | -0,05 | 0,17 |
| 3619F | 4,5 | 15,2062 | -10,71 | -11,38 | -10,63 | -10,84 | 0,67 | -0,08 | 0,13 |
| 3619M | -6,46 | 4,3344 | -10,79 | -11,44 | -10,67 | -10,84 | 0,65 | -0,12 | 0,05 |
| 3619N | -5,04 | 5,8223 | -10,86 | -11,46 | -10,7 | -10,85 | 0,60 | -0,16 | -0,01 |
| 3620C | 36,18 | 47,0685 | -10,89 | -11,51 | -10,74 | -10,91 | 0,62 | -0,15 | 0,02 |
| 3620D | 35,76 | 46,647 | -10,89 | -11,51 | -10,74 | -10,91 | 0,62 | -0,15 | 0,02 |
| 3620G | 13,86 | 24,7149 | -10,85 | -11,52 | -10,74 | -10,93 | 0,67 | -0,11 | 0,08 |
| 3620V | 8,74 | 19,2094 | -10,47 | -11,35 | -10,61 | -10,8 | 0,88 | 0,14 | 0,33 |
| 3621C | 10,19 | 20,2979 | -10,11 | -11,3 | -10,61 | -10,82 | 1,19 | 0,5 | 0,71 |
| 292V | -7,66 | 3,3059 | -10,97 | -11,48 | -10,8 | -10,95 | 0,51 | -0,17 | -0,02 |
| 3621L | 51,03 | 61,6741 | -10,64 | -11,31 | -10,59 | -10,78 | 0,67 | -0,05 | 0,14 |
| 3621N | 27,4 | 38,5535 | -11,15 | -11,32 | -10,59 | -10,78 | 0,17 | -0,56 | -0,37 |
| 3621U | 5,15 | 15,2524 | -10,1 | -11,43 | -10,63 | -10,8 | 1,33 | 0,53 | 0,7 |
| 3622D | 32,91 | 43,7586 | -10,85 | -11,47 | -10,73 | -10,9 | 0,62 | -0,12 | 0,05 |
| 3622H | 18,86 | 29,6562 | -10,8 | -11,37 | -10,62 | -10,79 | 0,57 | -0,18 | -0,01 |
| 3630V | -9,06 | 1,8088 | -10,87 | -11,48 | -10,78 | -10,94 | 0,61 | -0,09 | 0,07 |
| 3640A | -8,66 | 2,2087 | -10,87 | -11,48 | -10,78 | -10,94 | 0,61 | -0,09 | 0,07 |
| 3620A | -7,55 | 3,3538 | -10,9 | -11,51 | -10,74 | -10,91 | 0,61 | -0,16 | 0,01 |
| 3621P | 17,86 | 29,3165 | -11,46 | -11,35 | -10,6 | -10,79 | -0,11 | -0,86 | -0,67 |
| 3620S | -8,02 | 2,9334 | -10,95 | -11,48 | -10,77 | -10,93 | 0,53 | -0,18 | -0,02 |
| 3665X | 25,97 | 36,6259 | -10,66 | -11,32 | -10,59 | -10,79 | 0,66 | -0,07 | 0,13 |
| 3636S | 35,95 | 46,6058 | -10,66 | -11,3 | -10,6 | -10,8 | 0,64 | -0,06 | 0,14 |
| 3618C | 5,718 | 16,3572 | -10,64 | -11,38 | -10,61 | -10,72 | 0,74 | -0,03 | 0,08 |
| 3618G | -7,779 | 2,883 | -10,66 | -11,4 | -10,61 | -10,73 | 0,74 | -0,05 | 0,07 |
| 3618F | -8,216 | 2,4353 | -10,65 | -11,4 | -10,61 | -10,71 | 0,75 | -0,04 | 0,06 |

Analisando, mais detalhadamente, a Tabela 1, pode-se verificar, em azul, os resultados com menores valores das discrepâncias calculadas e, em vermelho, os resultados com maiores discrepâncias. Com isso, fica notório que a versão de 2004 concentra os piores resultados, com exceção a duas RRNN (3621N, 3621P). Porém as versões de 2010 e 2015 não apresentam resultados claros, de qual é a versão mais confiável, pois irá depender da localização geográfica para definir qual versão é a mais indicada. De forma resumida, das 25 RRNN estudadas, 48% apresentaram melhores resultados na versão 2015, 44% na versão 2010 e apenas 8% na versão 2004. Descartando os resultados da versão 2004, e comparando apenas as duas versões mais atuais, pode-se observar que 56% dos resultados com menor discrepância foram obtidos na versão de 2015 e os outros 44% na versão de 2010. Dessa forma, de modo geral, a versão MAPGEO 2015 apresenta, levemente, os melhores resultados entre as três versões estudadas, o que dá maior confiabilidade a este novo modelo.

CONCLUSÃO: Com base nos dados e resultados obtidos, verificou-se uma melhora significativa dos valores de N_m obtidos nas versões mais atuais do MAPGEO/IBGE quando comparadas aos valores calculados (N_c). No entanto, em quatro RRNN (3621C, 3621N, 3621P, 3621U) usadas no estudo de caso ocorreram discrepâncias significativas em relação aos demais valores. Porém o próprio IBGE afirma em

seu relatório de desenvolvimento do MAPGEO2015 que as alturas geoidais derivadas das observações GNSS sobre RN não apresentam valores isentos de erros. Vale ressaltar que para a geração do MAPGEO2004 foi elaborado com uma resolução de 10' de arco, segundo informações do próprio aplicativo, já o MAPGEO2010 apresenta metade dessa resolução 5' de arco e consideravelmente uma quantidade de estações gravimétricas medidas, muito maior, que a versão 2004, segundo o próprio IBGE. Porém a versão 2015, apesar de apresentar a mesma resolução da versão 2010, possui mais estações gravimétricas medidas e, portanto, um valor mais preciso e confiável da sua versão.

REFERÊNCIAS:

SANTOS. M. A.; MOTTA. J.A. **Determinação do modelo local da Região Metropolitana do Recife (RMR) e parte do Agreste de Pernambuco por meio de medições gravimétricas.** Recife – PE, 2012.

BLITZKOW,D.;CAMPOS,I.O.;FREITAS,S.R.C. **Altitude: O que interessa e como equacionar.** Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. DECart/UFPE – Recife, 1 a 3 de setembro de 2004.

TORGE, W. Geodesy. Berlin: de Gruyter, 3 ed., 2001.

CHUERUBI. M. L. **Utilização do Software MAPGEO 2010 com recurso didático no estudo das superfícies e referências geodésicas adotados em Geodésia,** 2013.

IBGE. **Relatório de desenvolvimento do MAPGEO2015**

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal_3.shtm

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/calculo_do_modelo.shtm