



X COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS

UFPR - Departamento de Geomática
Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL OBTIDO EM FUNÇÃO DA TOPOGRAFIA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NAS ESTAÇÕES DA REDE MAREGRÁFICA PERMANENTE PARA GEODESIA COM DIFERENTES MODELOS GEOIDAIIS

Valéria Silva

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
vsilva2@usp.br

Gabriel Guimarães

Instituto de Geografia
Universidade Federal de Uberlândia
gabriel@ufu.br





Rede Altimétrica

- Composta pelos *data* de **Imbituba** e **Santana**.
- Falta de informação da Topografia do Nível Médio do Mar na determinação de altitude.
- *A TNMM é a separação do nível médio do mar e do geoide (SANCHÉZ, 2009)*
- Erros de propagação do nivelamento e diferentes reduções gravimétricas ocasionam incertezas métricas.



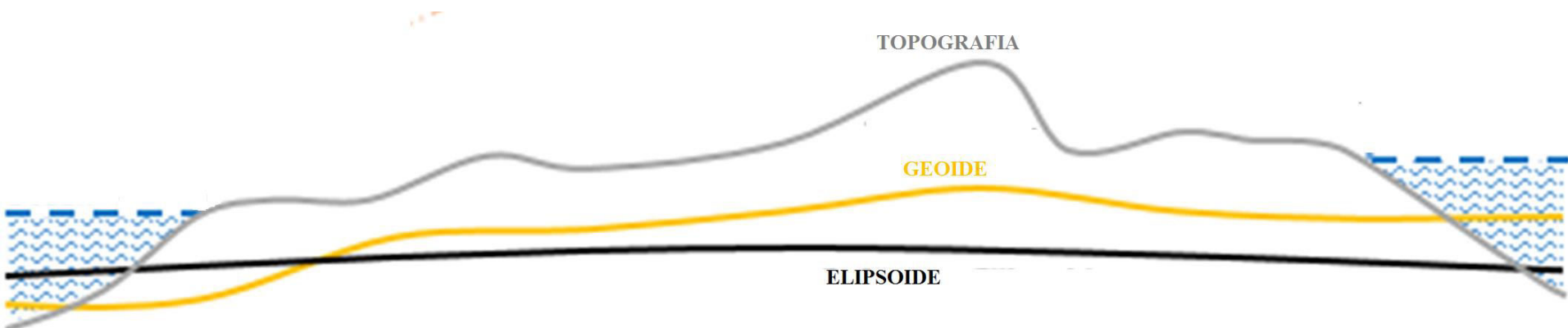
Fonte: IBGE, 2018

Altitudes referenciadas em medidas maregráficas podem alcançar discrepâncias de até 2 m em escala global (SÁNCHEZ, 2007).



Topografia do Nível Médio do Mar

- Topografia do Nível Médio do Mar (IBGE, 2013)
- Topografia Oceânica (LOPES, 2006)
- Topografia Dinâmica (LOPES, 2010)
- Topografia da Superfície do Mar, do inglês *Sea Surface Topography* (HAYDEN et al., 2012; TORGE, 2001).



Fonte: NRCAN, 2018.

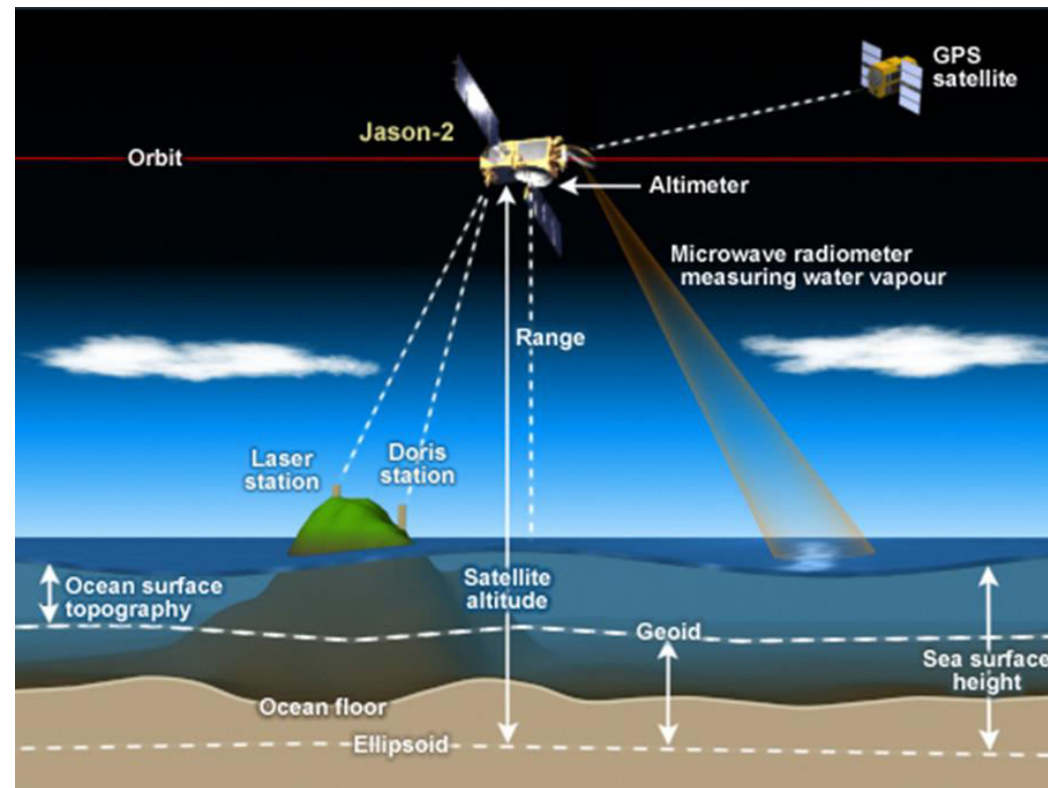


Topografia do Nível Médio do Mar

Altimetria por radar abordo de satélites

Métodos de obtenção da TNMM:

- combinando registro das médias do nível do mar com modelos geopotenciais;
- altimetria por satélites e modelos geopotenciais;
- modelos oceânicos.



Fonte: NOA, 2018.

Embora a utilização das missões espaciais de altimetria por satélite seja o método mais utilizado, a TNMM em regiões costeiras não é modelada em grande resolução (SILVA, 2017).



Definição e Realização de um Sistema Global de Altitudes Físicas

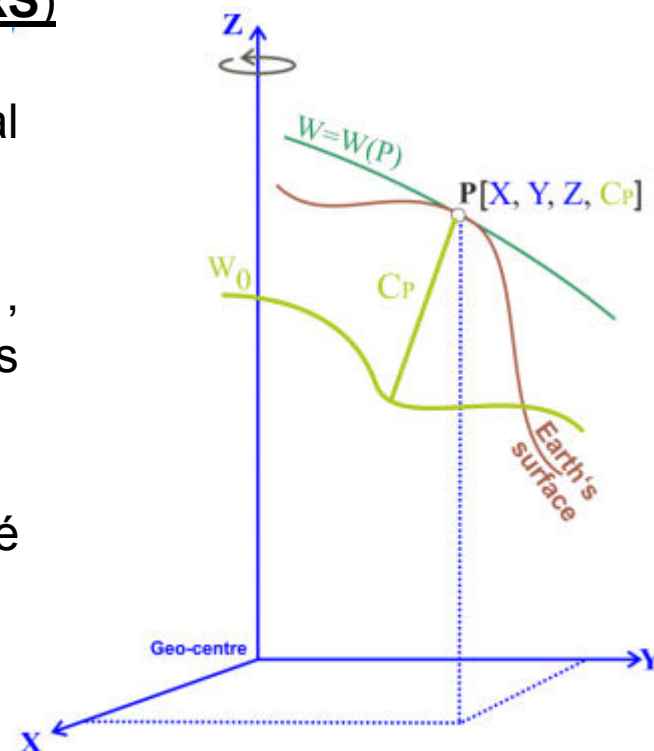
Os existentes referenciais verticais não satisfazem as exigências em precisão para determinar e investigar as mudanças globais da Terra e monitorar o nível do mar (SANCHÉZ, 2009).

International Height Reference System (IHR)

- As coordenadas verticais são diferenças de potencial referenciadas ao valor de W_0 ($62636853,4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$).
- A posição do ponto P é dada por um vetor X_p (X_p, Y_p, Z_p) associadas às coordenadas do ITRF com suas variações com o tempo.
- As coordenadas são dadas no sistema de maré médio ou zero.
- IHDE et al., (2017)

$$C = W_0 - W_p$$

$$H = \frac{C}{g}$$



Fonte: Sanchez et al., (2017)

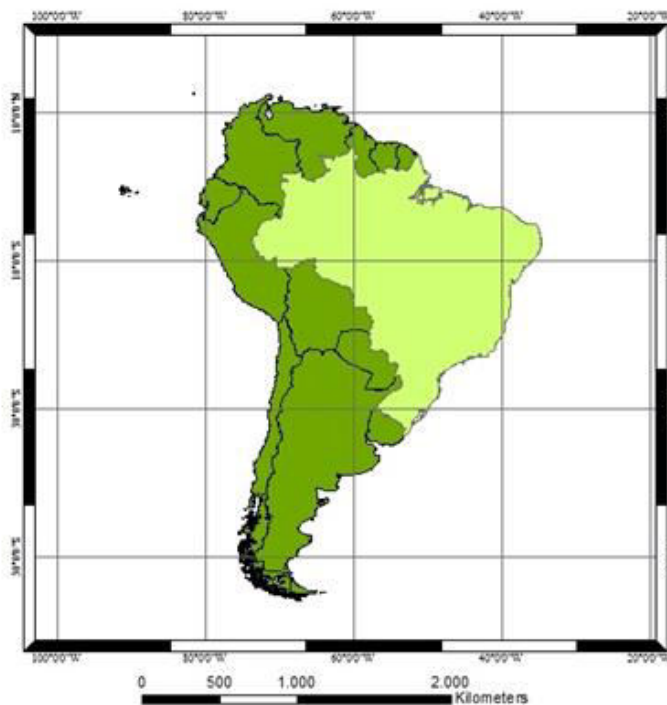
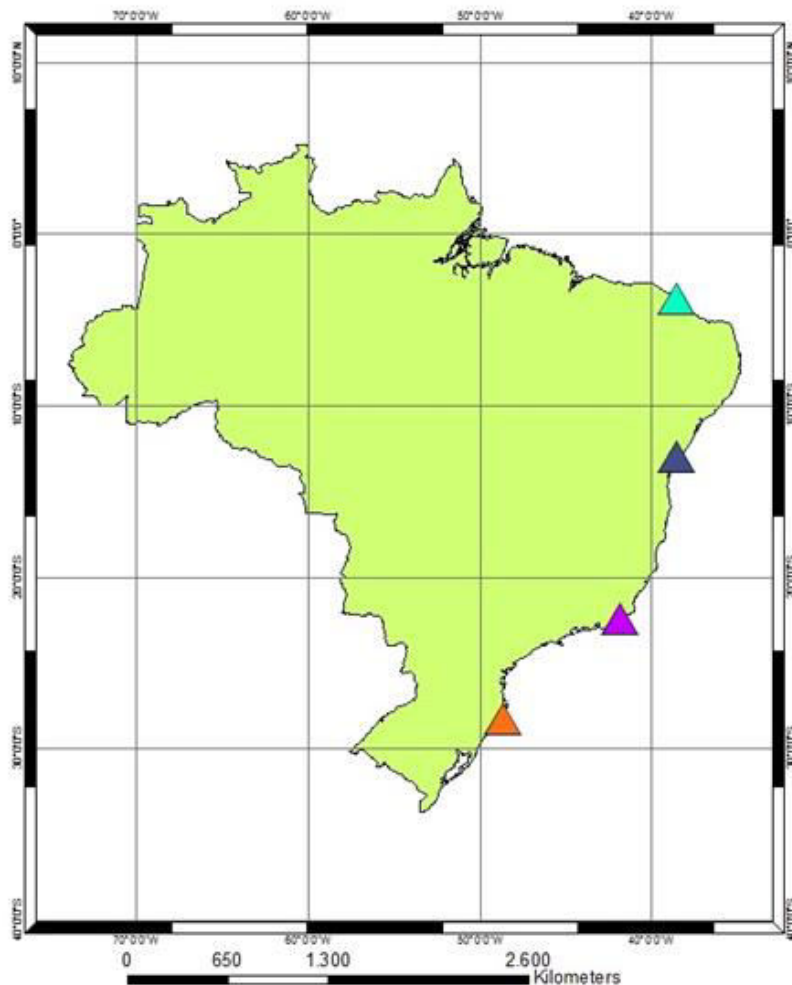


Objetivos

Calcular a **TNMM** e obter o valor do W_p para as estações de Imbituba, Macaé, Salvador e Fortaleza pertencentes a Rede Maregráfica Permanente para a Geodesia por meio dos seus respectivos níveis de referências e os modelos do geopotencial mais recentes. Comparar os resultados obtidos com o MAPGEO2015.



Localização da área de estudo: Estações Maregráficas da RMPG



Legenda

-  BRASIL
-  AMÉRICA DO SUL
-  FORTALEZA
-  SALVADOR
-  MACAÉ
-  IMBITUBA



Elaborado por SILVA, V. C. (2017).

Fonte: IBGE (2015).

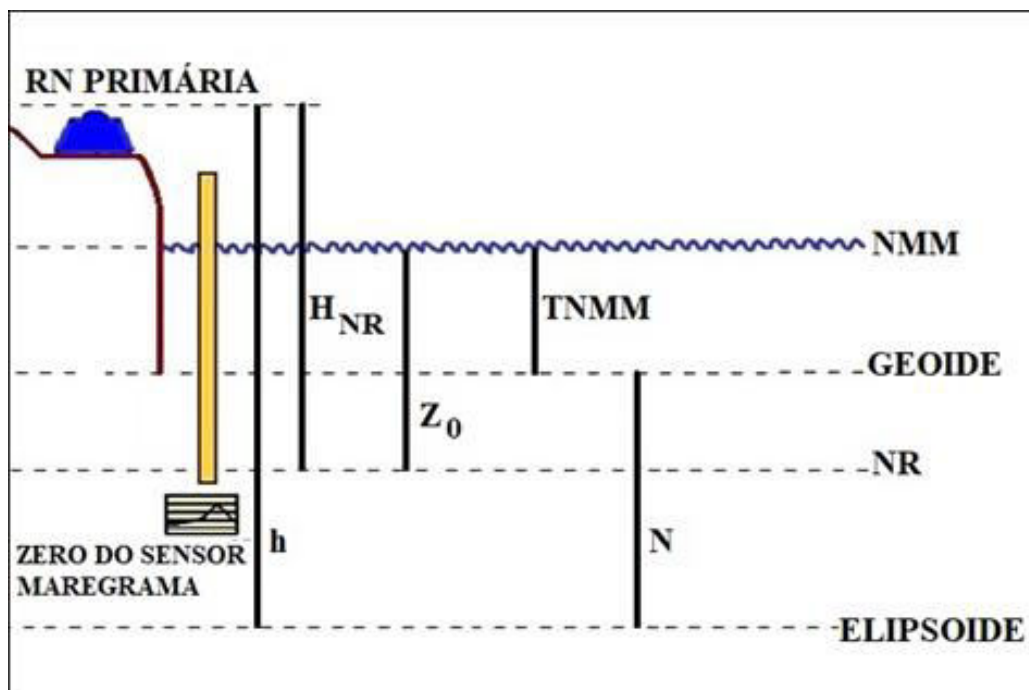
Coordenadas Geográficas:

WGS1984



Materiais e Método

Aproximação Geométrica para Calcular a TNMM



- h : altitude elipsoidal da RN
- H_{NR} : altura da RN acima NR
- Z_0 : altura do NMM acima do NR.
- N : é a altura geoidal fornecida pelos modelos de geopotencial ou por um modelo geoidal.

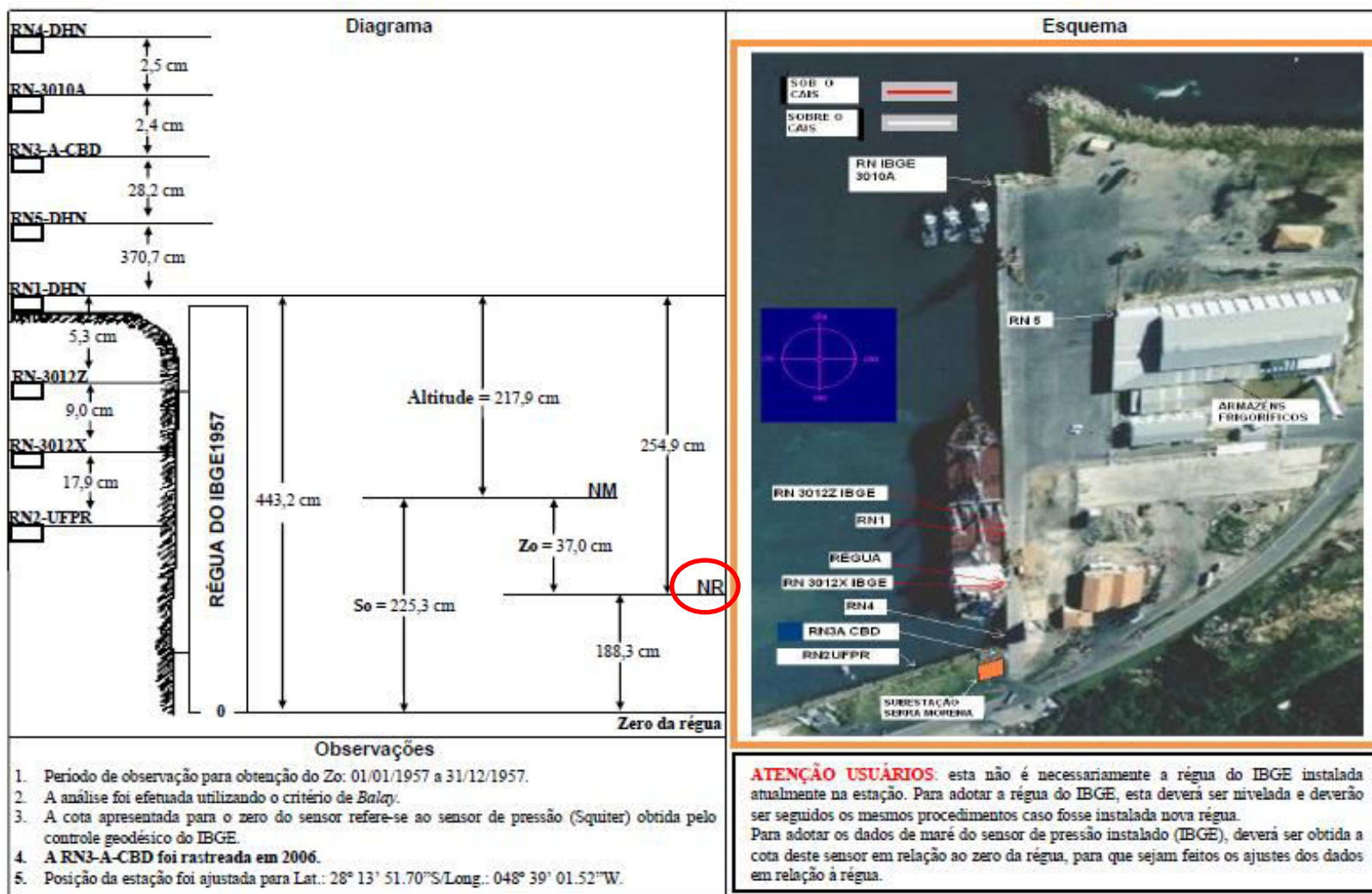
Fonte: Adaptado de IBGE (2016) e Hayden et al., (2012).

$$TNMM = h - N - H_{NR} + Z_0$$



Material e Métodos

Níveis de Referência da EM de Imbituba





Material e Métodos

- Para a TNMM ser expressa em termos do potencial no ponto de interesse W_P , é necessário realizar a conversão para a diferença de potencial (HAYDEN et al., 2012). ($W_0 = 62636853.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)

$$W_P = W_0 - [(h - N - H_{NR} + Z_0) \gamma_P]$$

- Onde, γ_P refere-se à gravidade normal, calculada aproximadamente pela equação de Somigliana (MORITZ, 1980).

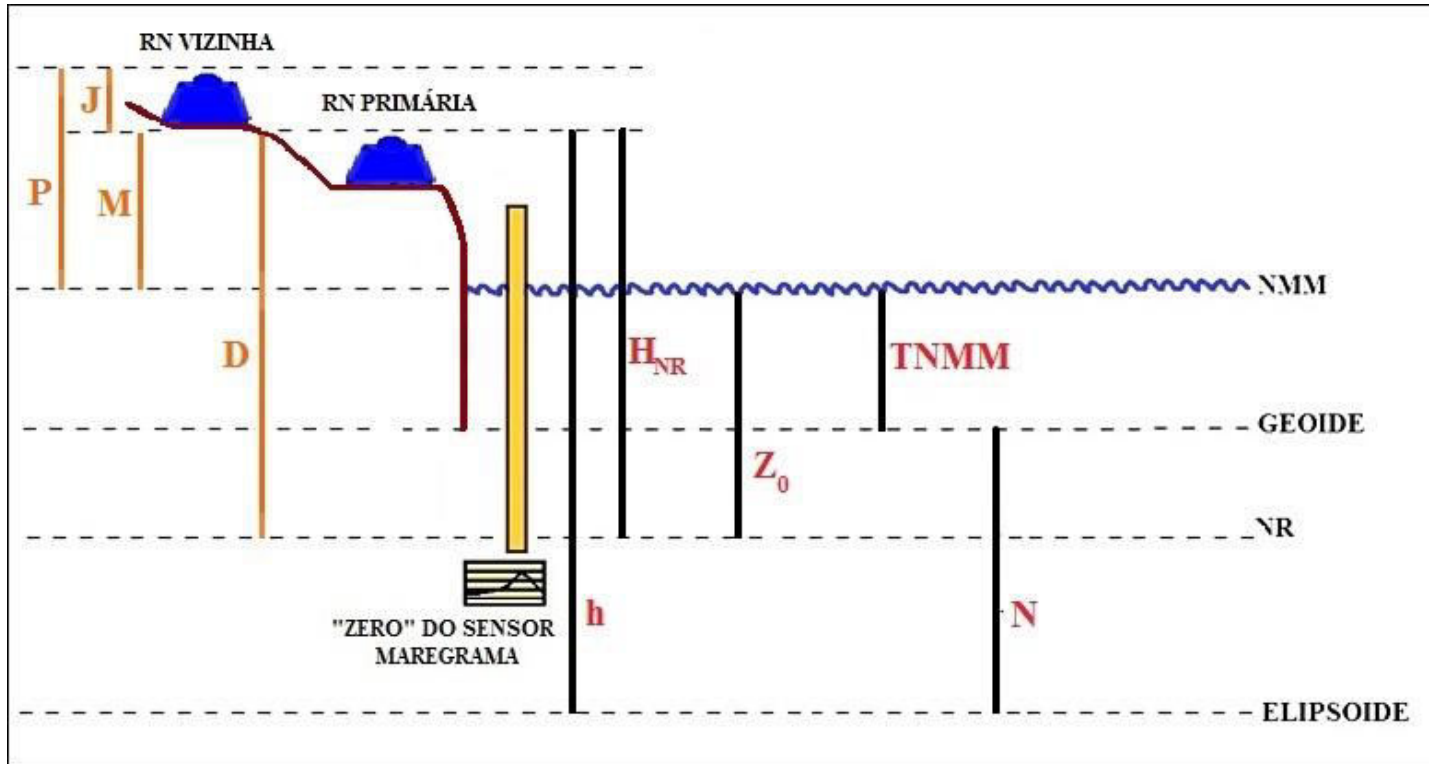
$$\gamma = \frac{a \gamma_e \cos^2 \Phi + b \gamma_p \sin^2 \Phi}{\sqrt{a \gamma_e \cos^2 \Phi + b \gamma_p \sin^2 \Phi}}$$

- A separação entre o nível médio do mar e o geoide em relação ao potencial é dada pela equação abaixo (HAYDEN et al., 2012).

$$TNMM_P = \frac{W_0 - W_P}{\gamma_P}$$



Material e Métodos



Fonte: Adaptado de IBGE (2016) e Hayden et al., (2012).

J: Desníveis entre as referências de nível primária e vizinha determinado pelo nivelamento CGEM.

M: Altura da RN primária acima do nível médio local.

P: Altura da RN vizinha acima do nível médio local.

D: Altura da RN primária acima do nível de redução.



Material e Métodos

Elemento h

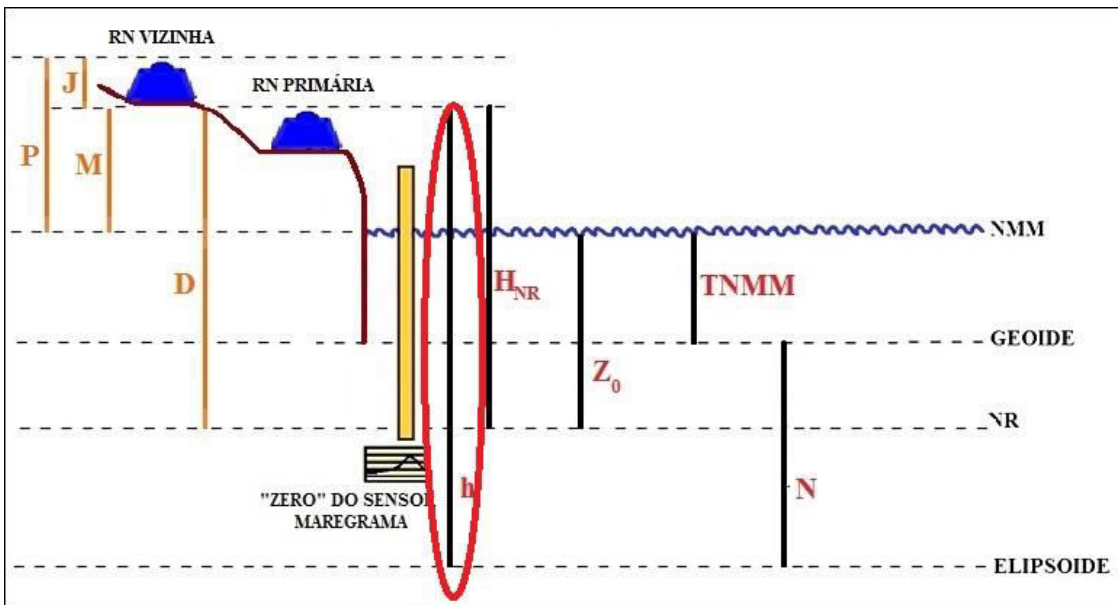


Tabela 1 – Altitude elipsoidal das RRNN primárias.

EMs	h (metros)	RNs
Fortaleza	-5,3663	9320P/2791N
Salvador	-8,6610	3640A
Macaé	-3,4080	3086U
Imbituba	3,3539	3012X/3012U

Fonte: IBGE, 2017; Autores.

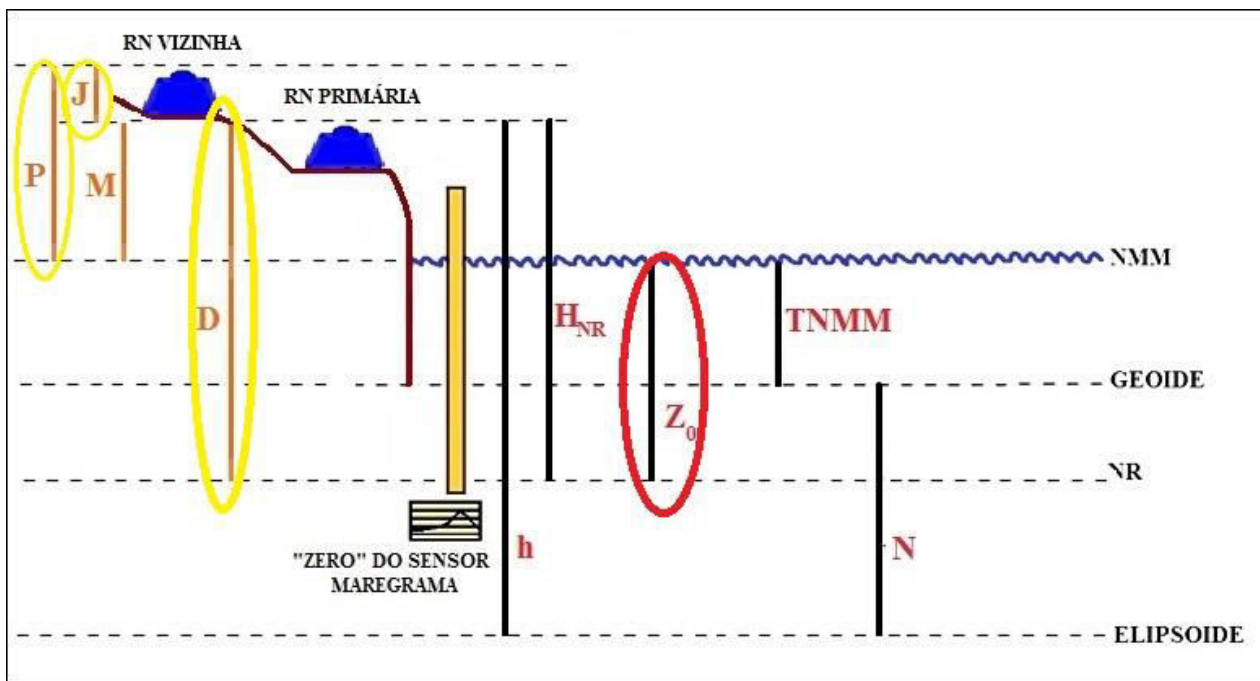
Fonte: Adaptado de IBGE (2016) e Hayden et al., (2012).

$$h_1 - h_2 = (H_1 - H_2) + (N_1 - N_2)$$



Material e Métodos

Elemento Z_0



Fonte: Adaptado de IBGE (2016) e Hayden et al., (2012).

Tabela 3 -Altura entre o NR e o NMM local.

EMs	Z_0 (metros)
Fortaleza	1,5568
Salvador	1,2921
Macaé	1,0433
Imbituba	0,4672

Fonte: IBGE, 2016.

$$Z_0 = D - (P - J)$$



Material e Métodos

Modelos Globais do Geopotencial

- Foi escolhido os modelos EIGEN-6C4, GECO, XGM2016, classificados como sendo ***Longtime Models***.
- A função para o cálculo é o ***geoid***.
- O sistema de referência utilizado foi o **WGS84**.
- **Termo de grau zero** para adequar o geóide ao seu geocentro.
- Sistema **livre de maré**.



Fonte: ESA, 2018.



Material e Métodos

Tabela 4 – Valor da altura geoidal (N) para os modelos globais do geopotencial e do Modelo Oficial do Geoide para as EMs (metros)

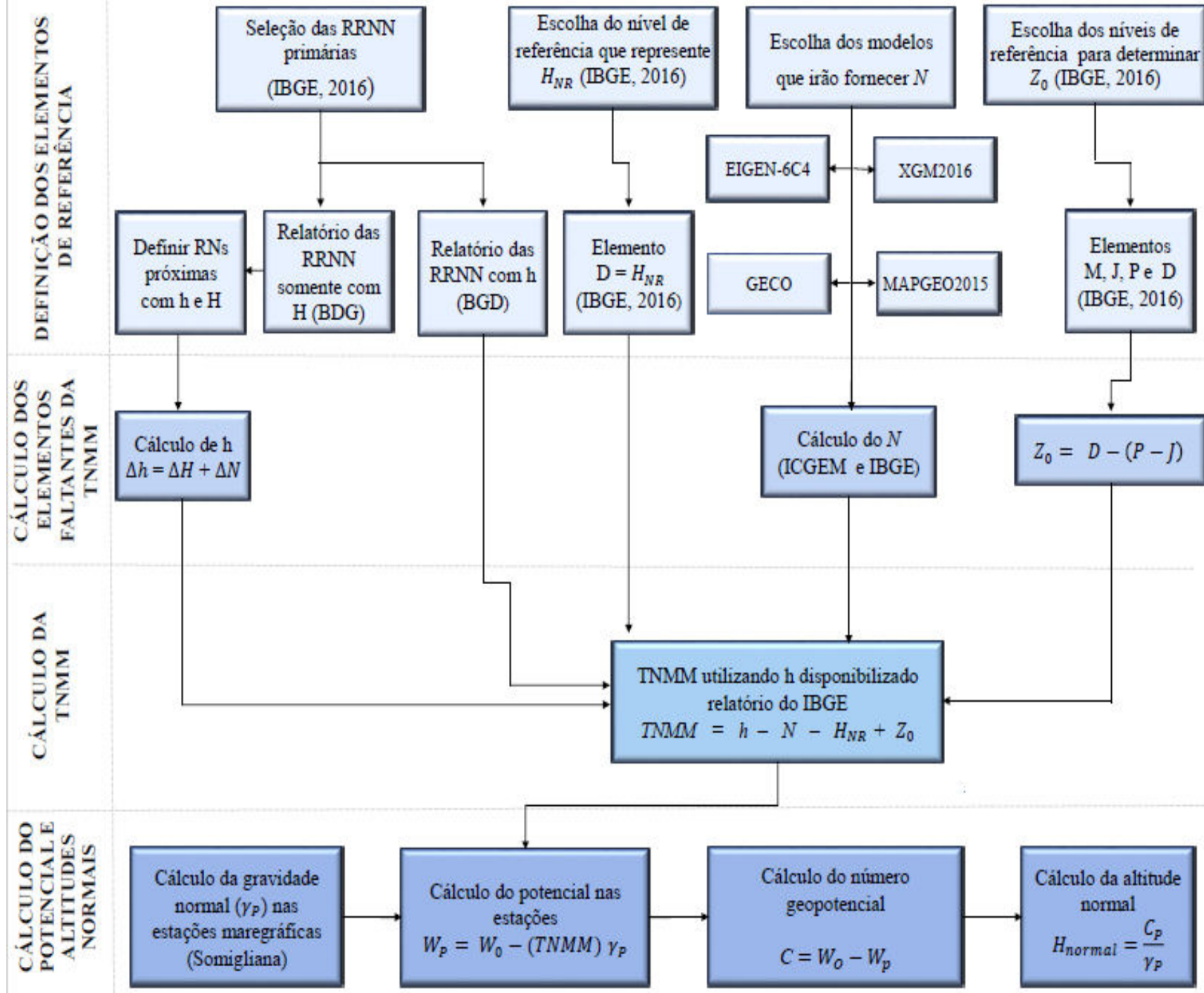
EMs	GECO	EIGEN-6CS	XGM2016	MAPGEO2015
Fortaleza	-9,0484	-9,0853	-9,0970	-8,9400
Salvador	-11,1311	-11,1165	-11,1468	-10,9400
Macaé	-6,7596	-6,9081	-6,8410	-6,7700
Imbituba	1,2749	1,2590	1,2919	1,2500



Material e Métodos

Tabela 5 – Valores obtidos de gravidade normal nas EMs.

EMs	Gravidade Normal (mGal)
Fortaleza	9,78054347
Salvador	9,78292972
Macaé	9,78782015
Imbituba	9,79189090





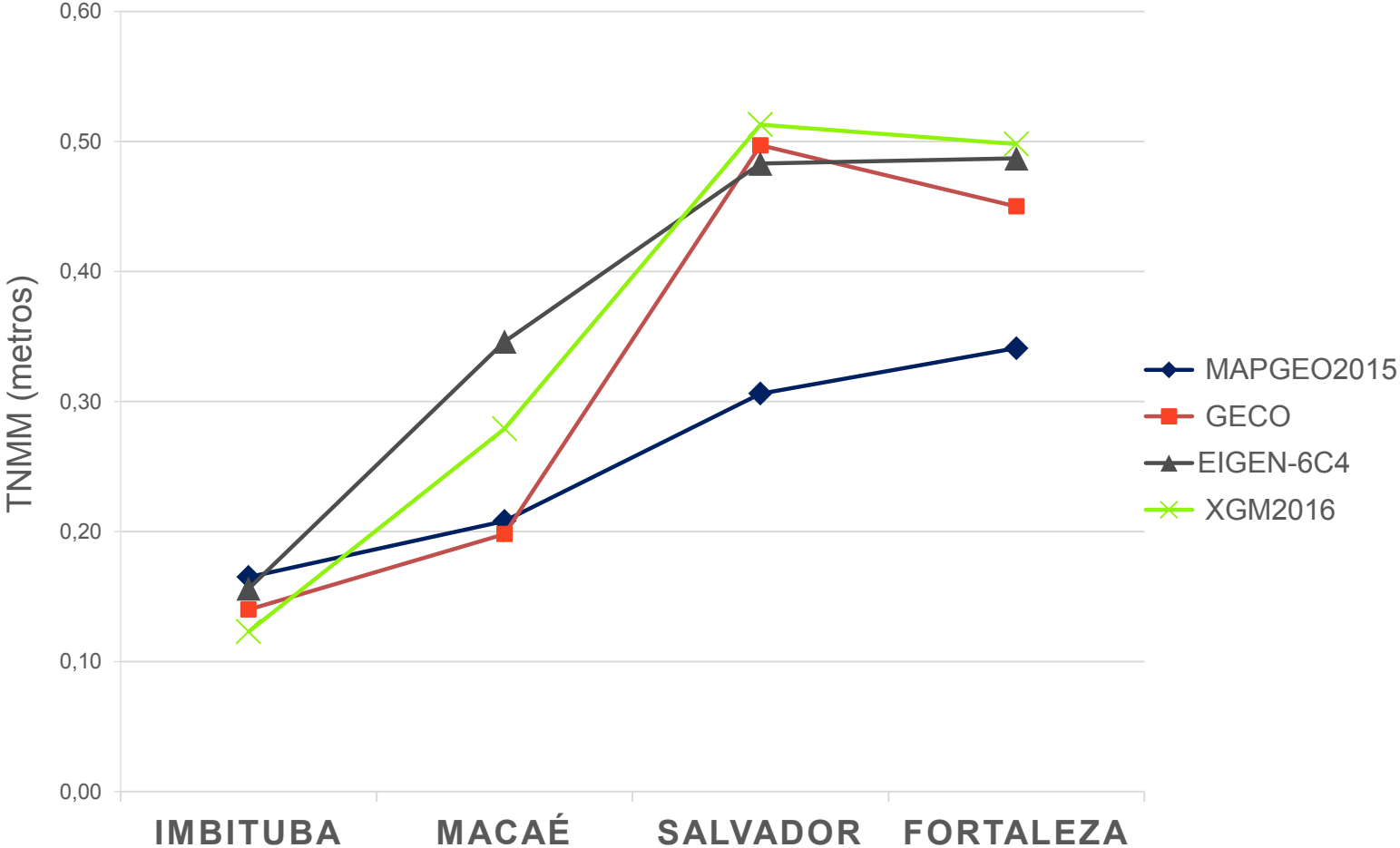
Resultados

Tabela 6 – TNMM das EMs calculada por diferentes modelos (metros).

EMs	GECO	EIGEN-6C4	XGM2016	MAPGEO2015
Fortaleza	0,450	0,487	0,498	0,341
Salvador	0,497	0,483	0,513	0,306
Macaé	0,198	0,346	0,279	0,208
Imbituba	0,140	0,156	0,123	0,165



Resultados





Resultados

Tabela 7 – Comparação entre os modelos globais do geopotencial e MAPGEO2015. (metros)

EMs	Fortaleza	Salvador	Macaé	Imbituba
GECO / EIGEN-6C4	0,037	-0,015	0,148	0,016
GECO / XGM2016	0,049	0,016	0,081	-0,017
EIGEN-6C4 / XGM2016	0,012	0,030	-0,067	-0,033
GECO / MAPGEO2015	-0,108	-0,191	0,010	0,025
EIGEN-6C4 / MAPGEO2015	-0,145	-0,176	-0,138	0,009
XGM2016 / MAPGEO2015	-0,157	-0,207	-0,071	0,042



Resultados

Tabela 8 - W_p nas EMs (m^2/s^2)

EMs	GECO	EIGEN-6C4	XGM2016	MAPGEO2015
Fortaleza	62636849,00	62636848,64	62636848,52	62636850,06
Salvador	62636848,54	62636848,68	62636848,38	62636850,41
Macaé	62636851,46	62636850,01	62636850,67	62636851,36
Imbituba	62636852,03	62636851,87	62636852,19	62636851,78

Fonte: Os autores. **3,81 m^2/s^2** **1,72 m^2/s^2**

- Tocho e Vergos (2016), calcularam o valor do potencial médio local para a Argentina com duas metodologias diferentes:
 - combinação da altitude ortométrica de Helmert, valores do geopotencial e modelo de superfície derivada do EGM2008 utilizando o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados;
 - combinação de nivelamento e GNSS com ondulação geoidal derivada do modelo EGM2008.

Obtiveram valores entre 62636852,8 a 62636854,4 m^2/s^2 .



Resultados

Tabela 9 – Números Geopotenciais nas EMs (unidade de GPU)

EMs	GECO	EIGEN-6C4	XGM2016	MAPGEO2015
Fortaleza	4,40	4,76	4,88	3,34
Salvador	4,86	4,72	5,02	2,99
Macaé	1,94	3,39	2,73	2,04
Imbituba	1,37	1,53	1,21	1,62



Considerações Finais

- Apesar da escassez de pesquisas para fins comparativo devido a dificuldade metodológica em se estimar a TNMM com precisão, o estudo se demonstrou satisfatório visto que os valores de W_p determinados se mostraram consistente nas comparações.
- Os valores da TNMM pela metodologia aplicada, se mostraram dependentes dos valores de N dos modelos utilizados.
- Observou-se **discrepâncias** superiores para as estações de **Fortaleza** e **Salvador** para todos os parâmetros calculados.
- Uma das possíveis razões para a ocorrência desta diferença, pode estar relacionado aos **vazios gravimétricos** na região **Nordeste** comparado à outras regiões do país, e a **heterogeneidade de informações** dos modelos.
- Recomenda-se o **cálculo e divulgação dos desvios padrão** de cada elemento associado aos níveis de referência das estações maregráficas a fim de quantificar as incertezas apresentadas.



Próximas Etapas

- Transformação dos elementos de referência para o **sistema de maré médio** ou **zero**.
- Quantificar o **desvio padrão** dos elementos e assim determinar a **incerteza** final das observações.
- Aplicar a **correção** aos registros maregráficos retirando os **constituintes periódicos** que afetam a maré.
- Estudar os **erros de comissão e omissão** dos modelos globais do geopotencial na região costeira.



Referências

HAYDEN, T. et al. **Evaluation of W0 in Canada using tide gauges and GOCE Gravity Field models.** Journal of Geodetic Science. Canadá, 2012. Disponível em <<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/jogs.2012.2.issue-4/v10156-012-0003-9/v10156-012-0003-9.pdf>> Acesso em: 05 maio, 2017.

HAYDEN, T. T. **Geopotential of the Geoid-Based North America Vertical Datum.** 2013.197f. Dissertation (Master of Science). Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de Dados Geodésicos.** 2017. Disponível em :< <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>> Acesso em 20 ago. 2017.

_____. **Rede Maregráfica Permanente para Geodésia.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rmpg/default_rmpg_int.shtm> Acesso em 01 maio, 2017

_____. **Relatório de Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2001-2012.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2013_GRRV.pdf> Acesso em: 05 maio, 2017.



Referências

IHDE J. et al.: **Definition and proposed realization of the International Height Reference System (IHR)**. Surveys in Geophysics 38(3), 549-570, 10.1007/s10712-017-9409-3, 2017

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY (IAG). **IAG Resolution** (No. 1) for definition and realization of an International Height Reference System (IHR). Prague, Czech Republic, 2015.

INTERNATIONAL CENTRE for GLOBAL EARTH MODELS (ICGEM). 2017. Disponível em :<
<http://icgem.gfz-potsdam.de/calc>> Acesso em: 25 ago., 2017.

MORITZ, H. **Advanced physical geodesy**. Karlsruhe: Wichmann, 1980.

SANCHÉZ, L. **Strategy to Establish a Global Vertical Reference System**. Germany, 2009.



Obrigada pela atenção!

vsilva2@usp.br