

A UTILIZAÇÃO DE SATÉLITES ALTIMÉTRICOS E GRAVIMÉTRICOS NO ESTUDO DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR NO ATLÂNTICO SUL.

Alexandre Bernardino Lopes - lopes@io.usp.br

Joseph Harari - joharari@usp.br

Afrânio Rubens de Mesquita - ardmesqu@usp.br

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

<http://www.mares.io.usp.br/>

RESUMO

Com os satélites TOPEX/Poseidon e Jason a determinação do nível do mar alcançou uma precisão sem precedentes, em escalas espaciais horizontais de centenas a milhares de km e temporais de poucos dias a vários anos; as observações dos satélites possibilitam a análise das variações do nível do mar e o estudo de suas causas, como por exemplo a circulação oceânica, efeitos meteorológicos, influências geofísicas, etc. No estudo das variações do nível do mar é de suma importância definir um referencial; de fato, a determinação da topografia dinâmica (TD, variação do nível do mar em relação ao geóide) é primordial para o estudo e interpretação de fenômenos hidrodinâmicos e geofísicos, como por exemplo, o cálculo da circulação geostrófica, vórtices, etc. Até recentemente, trabalhos de altimetria definiam um modelo do nível médio do mar como referência, determinando assim as anomalias de altitude; alternativamente, modelos de geóide de baixa resolução espacial eram utilizados. Com o lançamento dos satélites do sistema GRACE, em março de 2002, a utilização de modelos geoidais como referência vem sendo discutida e aprimorada, já que modelos provindos do GRACE apresentam precisão e resolução espacial e temporal sem precedentes. O sistema GRACE consiste em dois satélites, equipados com sistemas GPS, que determinam suas posições em relação a um referencial geocêntrico, localizados em altitude aproximada de 450-500 km e separados por uma distância de 220 km; esta distância é monitorada continuamente por um sistema de microondas, cujas variações são utilizadas na determinação do campo gravitacional. Este trabalho tem como objetivo mostrar e comparar as TDs determinadas com os modelos geoidais EGM96 e EIGEN-GL04C apontando os respectivos erros e procedimentos necessários para sua determinação correta.

1- ALTIMETRIA POR SATÉLITE (TOPEX/Posseidon, Jason)

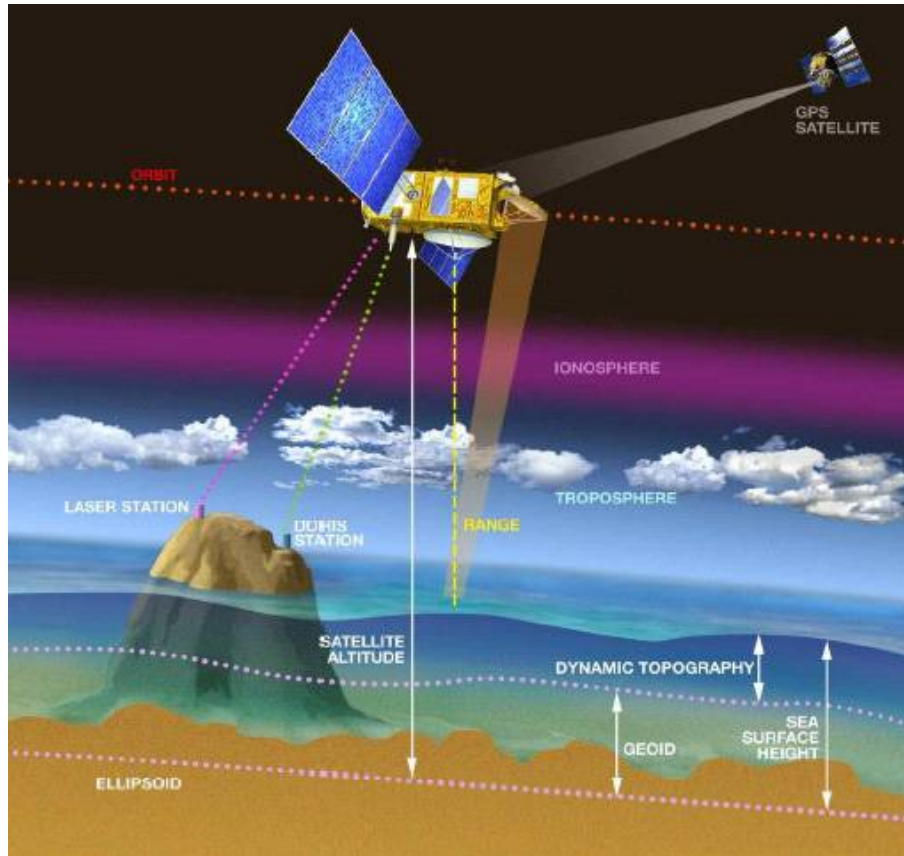


Fig. 1 – Satélite altimétrico

- Os satélites TOPEX/Posseidon e Jason possibilitaram o estudo do nível do mar com precisão sem precedente.
- As principais vantagens destacam-se: a cobertura espacial (Fig.2) e resolução temporal de 9.9156 dias.
- O erro associado às medidas dos satélites TOPEX/Poseidon e Jason são de 0.030m e 0.025m respectivamente.

1.1 - Cobertura espacial do TOPEX/posseidon

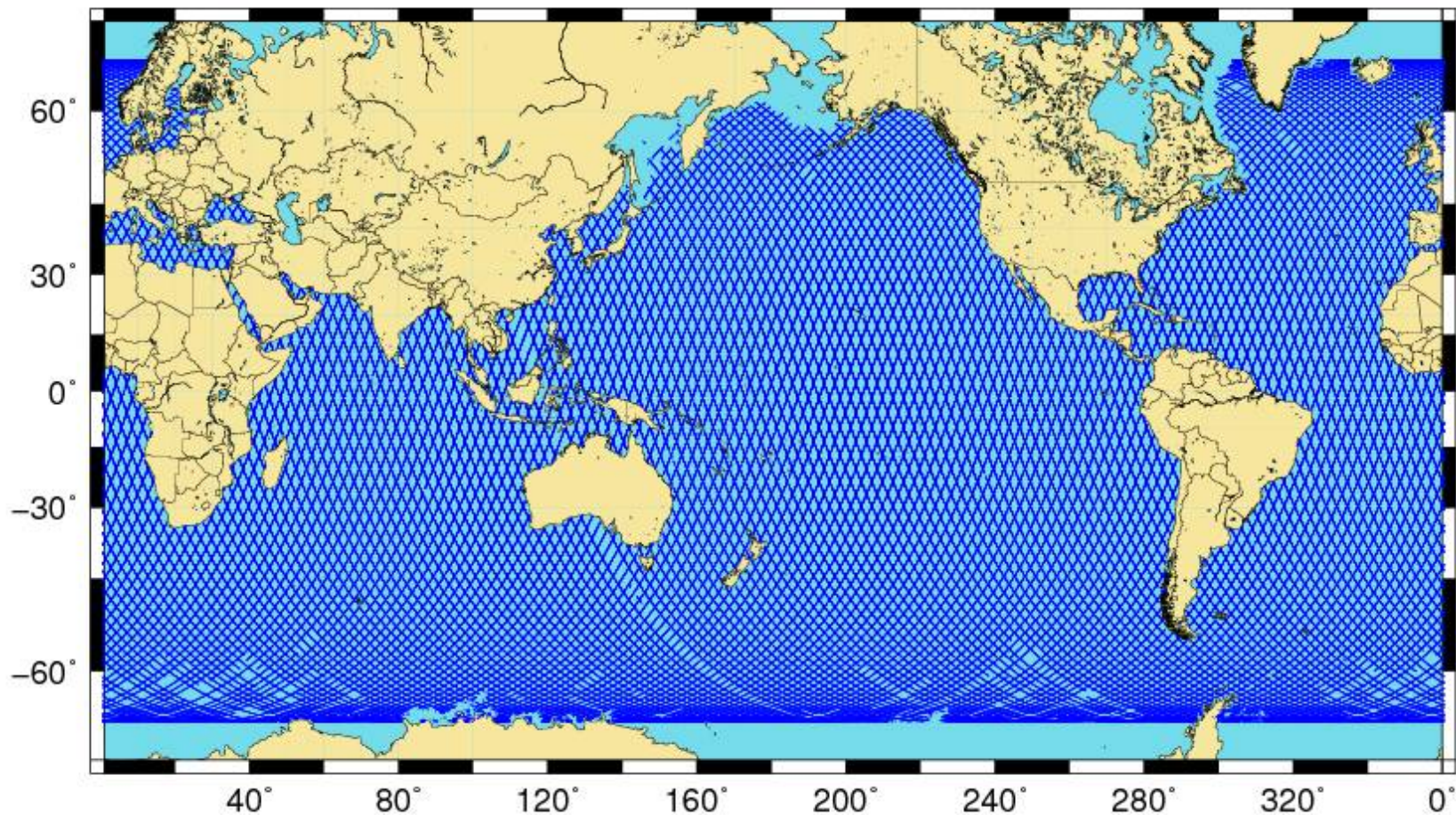


Fig. 2 – Cobertura Global do TOPEX/Posseidon

1.2 - Correções.

Na utilização do range do altímetro deve-se fazer uma série de correções, pois o mesmo sofre influências das condições ambientais, cuja negligência pode inviabilizar a utilização dos dados dos altímetros. As principais correções são:

- Correção da troposfera seca (C-TROP_SECA);
- Correção da troposfera úmida (C_TROP_UMIDA);
- Correção ionosférica (C_IONO);
- Correção do estado do mar (EST_MAR);

Outras correções devem ser aplicadas de acordo com o objetivo do estudo. São elas:

- Modelo de marés;
- Modelos do nível médio do mar;
- Modelos geoidais.

1.3 – Medição do nível do mar

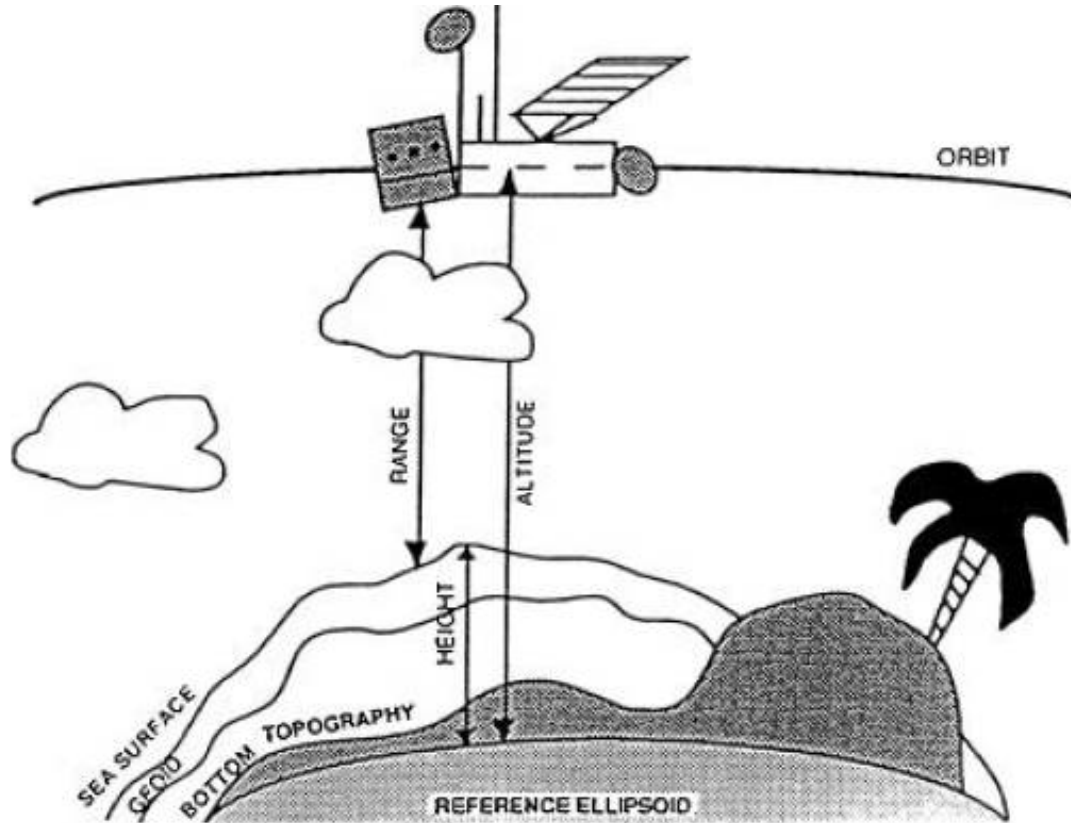


Fig. 3 – Referência das medidas altimétricas

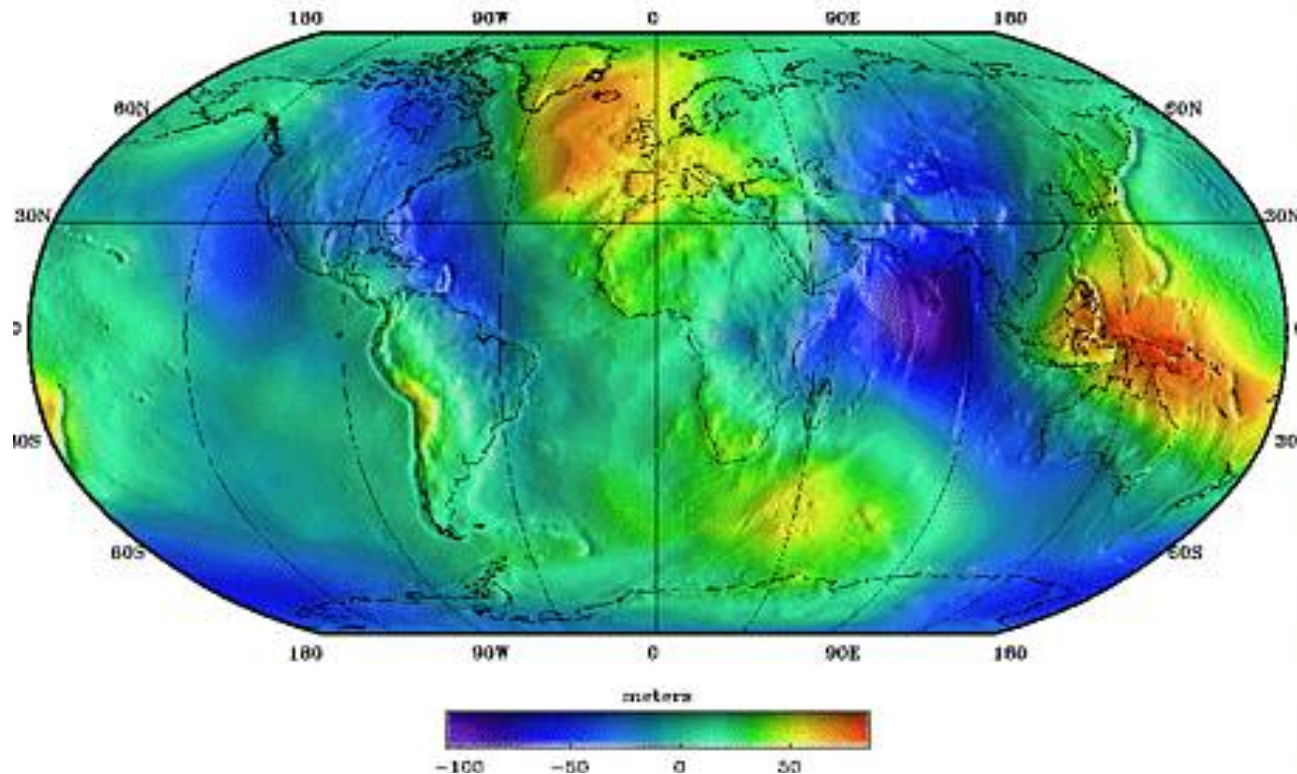
$$\text{SSH} = \text{HEIGHT} + (\text{C_TROP_SECA}) + (\text{C_TROP_ÚMIDA}) + (\text{C_IONO}) + (\text{EST_MAR})$$

➔ Nível do mar em relação ao elipsóide de referência corrigido

2 – OS MODELOS GEOIDAIS

2.1 – EGM96

- O EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*) completo para grau e ordem 360, foi determinado com dados de satélites e gravimetria terrestre. O modelo foi incorporado aos dados do Jason, porém o mesmo não é suficientemente preciso para estudos no oceano em pequena e média escala.



Fonte: <http://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>

2.2 – EIGEN-GL04C

- O modelo EIGEN-GL04C (grau e ordem 360) é determinado a partir de dados fornecidos pelo GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*).
- Os satélites do sistema GRACE (lançados em março de 2002) proporcionaram modelos geoidais com precisão e resolução sem precedentes, possibilitando sua utilização na determinação da TD (Topografia Dinâmica) e fenômenos hidrodinâmicos relacionados (correntes geostróficas, vórtices, meandros, etc)

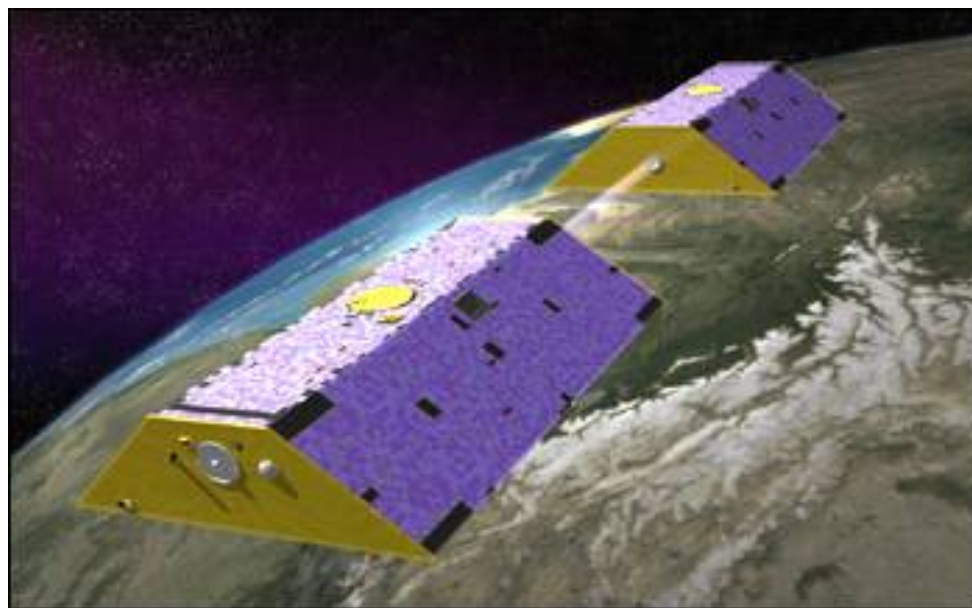


Fig. 5 – Sistema GRACE

- O modelo EIGEN-GL04C (Fig.6) foi determinado utilizando os coeficientes harmônicos esféricos fornecidos gratuitamente na página:

http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace/index_GRACE.html

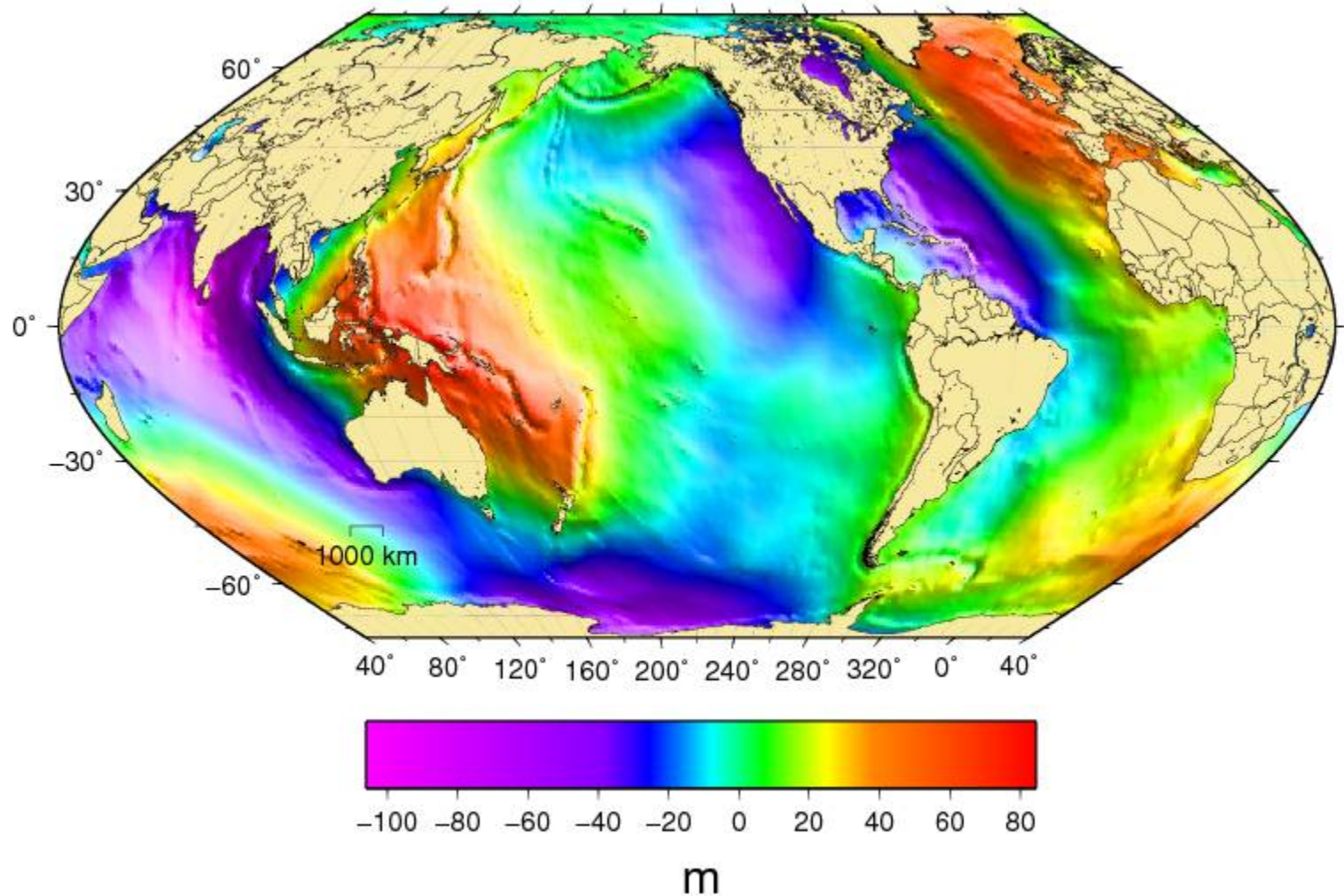


Fig. 6 – Modelo EIGEN-GL04C Global

2.3 – Precisão dos modelos geoidais

- Como pode ser observado na Fig. 7, a relação entre o erro e o coeficiente é diretamente proporcional ao grau e ordem do modelo; por outro lado, coeficientes de ordem e grau elevados são muito pequenos, com amplitude de ordem de grandeza $1e-10$.

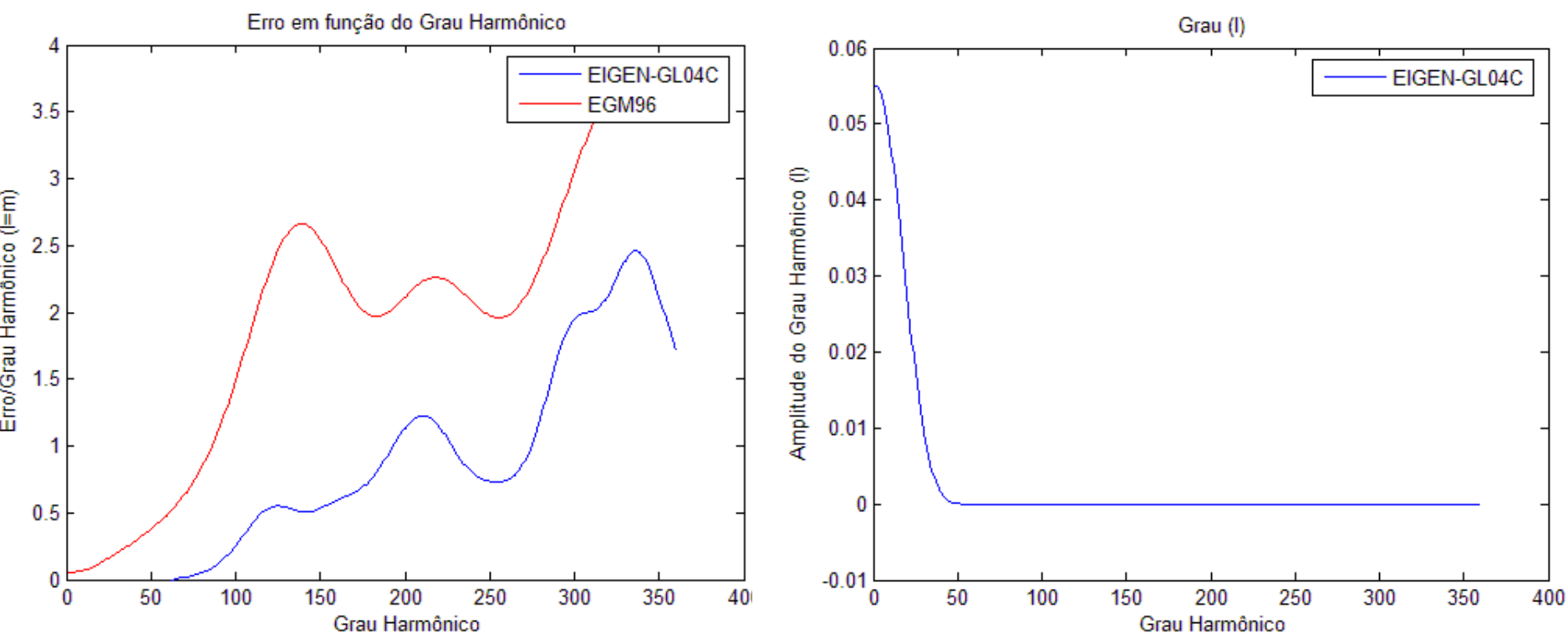


Fig. 7 – Erro do coeficiente em função do grau harmônico e ordem de grandeza dos coeficientes

3 – TOPOGRAFIA DINÂMICA

A determinação da TD consiste em processar os dados de satélites e calcular suas diferenças em relação ao modelo geoidal, como:

$$TD = SSHTC - N$$

onde SSHTC é o nível do mar, subtraída a maré (neste trabalho foi utilizado o ciclo 15 do TOPEX/Posseidon), em relação ao elipsóide de referência, e N é a altura geoidal (Wahr et al. 1998):

$$N(\theta, \phi) = a \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l P_{lm}(\cos \theta) (C_{lm} \cos(m\phi) + S_{lm} \sin(m\phi))$$

onde a é o raio da Terra, θ é a co-latidade, ϕ é a longitude, $P_{lm}(\cos \theta)$ são as funções associadas de Legendre, C_{lm} e S_{lm} são os coeficientes do desenvolvimento, de grau l e ordem m . Foram utilizados os coeficientes dos modelos geoidais EGM96 e EIGEN-GL04C, truncados em grau e ordem 360.

- A Fig. 8 ilustra o referencial da topografia dinâmica

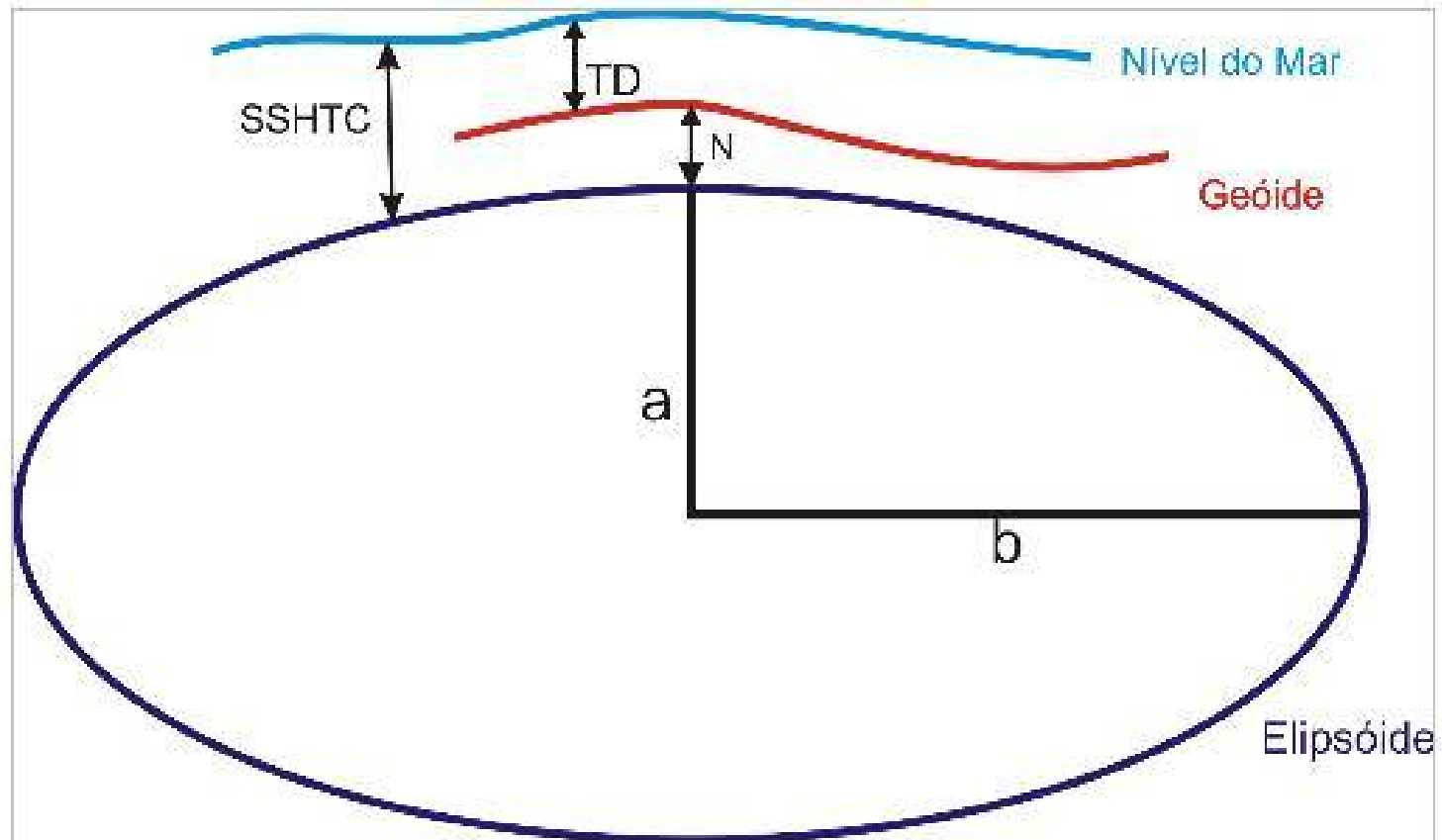


Fig. 8 – Referencial da Topografia Dinâmica

• A Fig. 9 mostra as TDs determinadas com os modelos geoidais EGM96 e EIGEN-GL04C

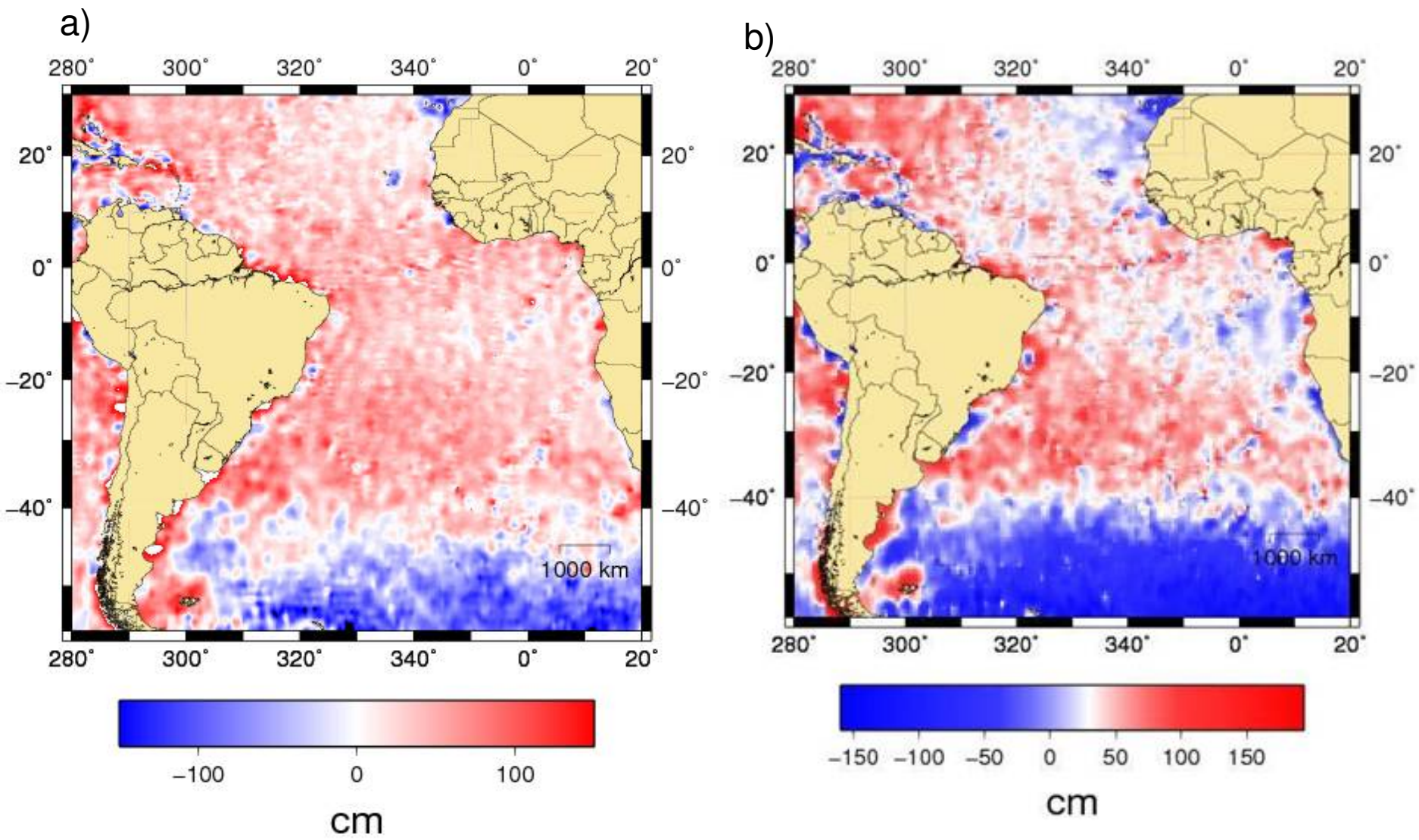


Fig. 9—Topografia dinâmica calculada com os modelos: a) EIGEN-GL04C e b) EGM 96

4 – CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

- Estudos recentes mostram a eficácia dos modelos geoidais obtidos com a missão GRACE (Tapley et al. 2005): em termos de precisão, o modelo provindo do GRACE apresenta melhores resultados (Fig. 7).
- Foi observado que o uso de diferentes referenciais modifica significativamente a TD no Atlântico Sul (Fig. 9), com variações da ordem de 50 cm (considerando o EGM96 e o EIGEN-GL04C);
- A utilização de modelos geoidais deve ser feita com cautela, levando-se em conta a precisão, resolução e ruídos, principalmente quando se trata de modelos expandidos em grau e ordem elevados (Vianna et al. 2007).

5 – ATIVIDADES FUTURAS

- Atualmente estão sendo feitos estudos com objetivo de reduzir os ruídos encontrados nos modelos geoidais e conseqüentemente melhorar o estudo da variabilidade do nível do mar e os fenômenos relacionados.
- O lançamento do sistema (GOCE) *Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer* (previsto para fevereiro de 2009) deverá reduzir os erros dos modelos geoidais em escalas menores que 100 km (Vossepoel, 2007).

6 – REFERÊNCIAS

Vianna, M. L., V. V. Menezes, & D. P. Chambers -2007- A high resolution satellite-only GRACE-based mean dynamic topography of the South Atlantic Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L24604, doi:10.1029/2007GL031912.

Vossepoel, F. C. -2007- Uncertainties in the mean ocean dynamic topography before the launch of the Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE), *J. Geophys. Res.*, 112, C05010, doi:10.1029/2006JC003891.

Wahr, J., Molenaar, M., Bryan, F. -1998- Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE, *J. Geophys. Res.* **103** 20205 – 20229.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Simulação e Previsão Numérica Hidrodinâmica (LABSIP) e Laboratório de Marés e Processos Temporais Oceânicos (MAPTOLAB) pelos programas fornecidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado concedida