



GEODESIA GLOBAL DAS NAÇÕES UNIDAS CENTRO DE EXCELÊNCIA

MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
OFICINA DE DESENVOLVIMENTO DE CAPACIDADES

Repositórios de dados de altura e modelos de
geoide

Nicholas Brown
Chefe do Gabinete, UN-GGCE

COMO

Dia 3, Sessão 2 [3_2_1]

Agradecimentos: Kevin Ahlgren (EUA); David Avalos (MEX); Jack McCubbine (AUS); Nikolaos Pavlis (EUA); Anna Riddell (AUS); Laura Sanchez (ALE); Michael Sideris (CAN).

Síntese

- Tradicionalmente, as pessoas querem saber a altura de algo em relação ao nível do mar.
 - Elas são conhecidas como “alturas físicas”.
- Os sistemas de posicionamento por satélite (GNSS e sensoriamento remoto) determinam as alturas em relação ao elipsóide.
 - Elas são conhecidas como “alturas geométricas”.
- Os modelos geoidais fornecem o desvio entre o elipsóide e o geoide e oferecem uma maneira eficiente de transformar alturas geométricas em alturas físicas.
- Para criar um modelo geoidal com precisão de 2 a 3 centímetros para um país, é necessária uma combinação de gravidade espacial, aérea e terrestre.



A altura é difícil... mas importante

- Para que lado a água corre?
- O que está em risco durante uma enchente?
- Como construímos um sistema de esgoto na cidade?
- Como desenvolver um sistema de irrigação eficiente para a agricultura?
- Como garantir a inclinação correta das ferrovias e estradas?
- Como saber a distância livre sob a quilha de um navio?
- Como monitorar a mudança do nível do mar?
- Qual é a altura do topo da montanha?



<https://www.welt.de/vermisches/weltgeschehen/gallery9348988/Das-Jahrzehnt-der-Wetterkatastrophen.html>



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**

Introdução à altura

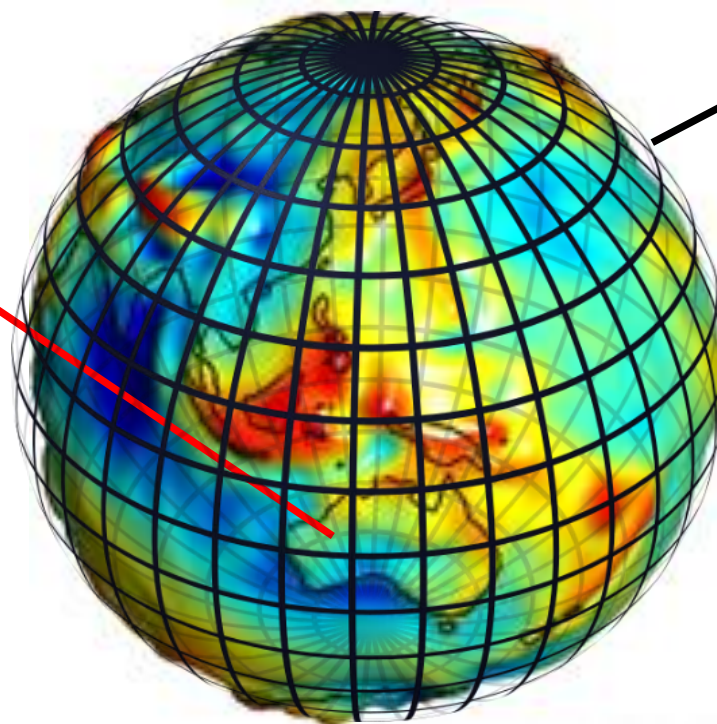
- Tradicionalmente, as pessoas querem saber a altura de algo em relação ao nível do mar.
 - Elas são conhecidas como “alturas físicas”.
- Os sistemas de posicionamento por satélite (GNSS e sensoriamento remoto) determinam as alturas em relação ao elipsóide.
 - Elas são conhecidas como “alturas geométricas”.
- É importante compreender como esses sistemas são diferentes e como os dados deles podem ser usados em conjunto.



Alturas físicas vs. alturas geométricas

Potencial
gravitacional
igual

- Complexo
- Significativo do ponto de vista físico
- Preciso
- Precisa de um modelo para usar com GNSS
- A água sempre corre para baixo



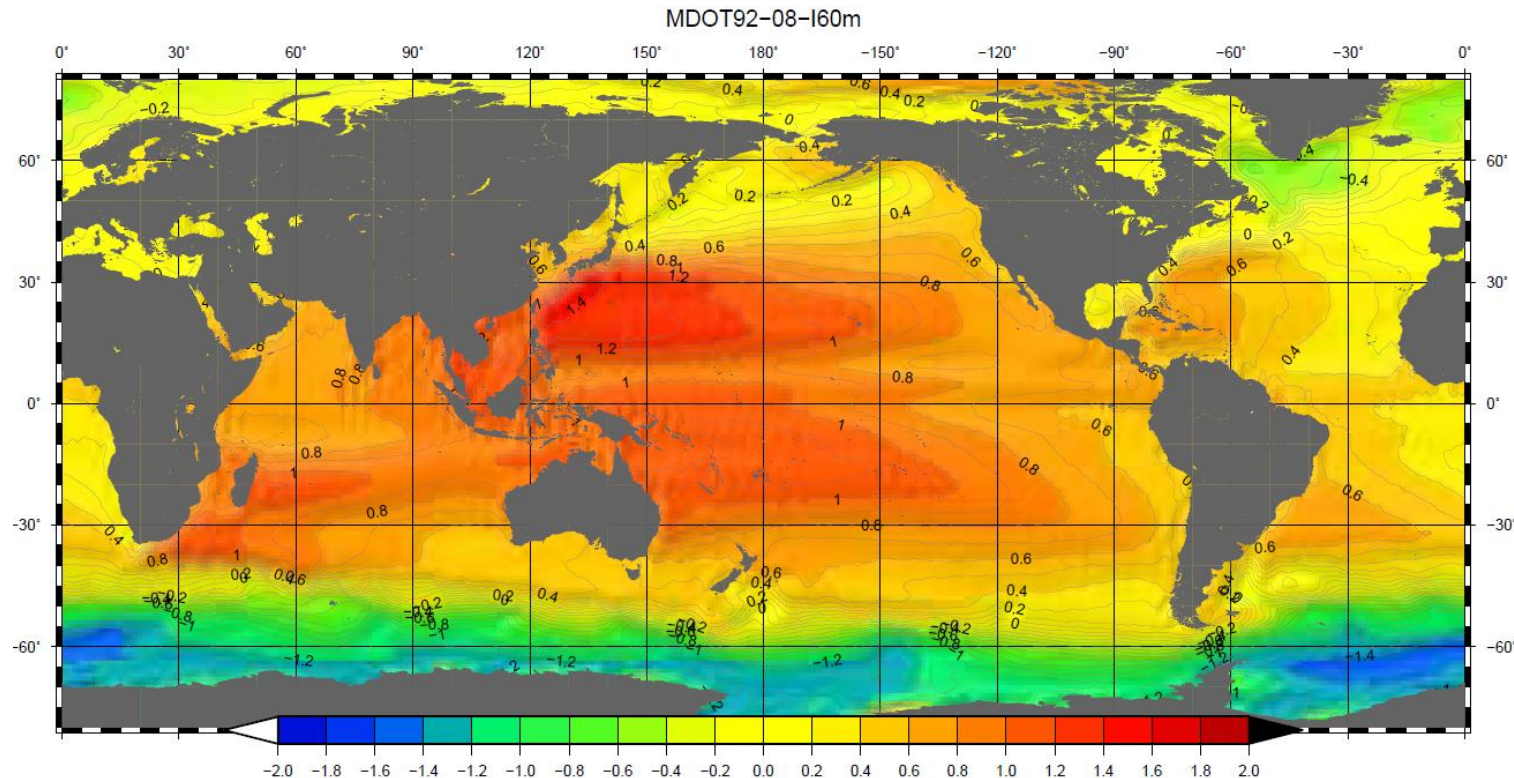
Geométric

o

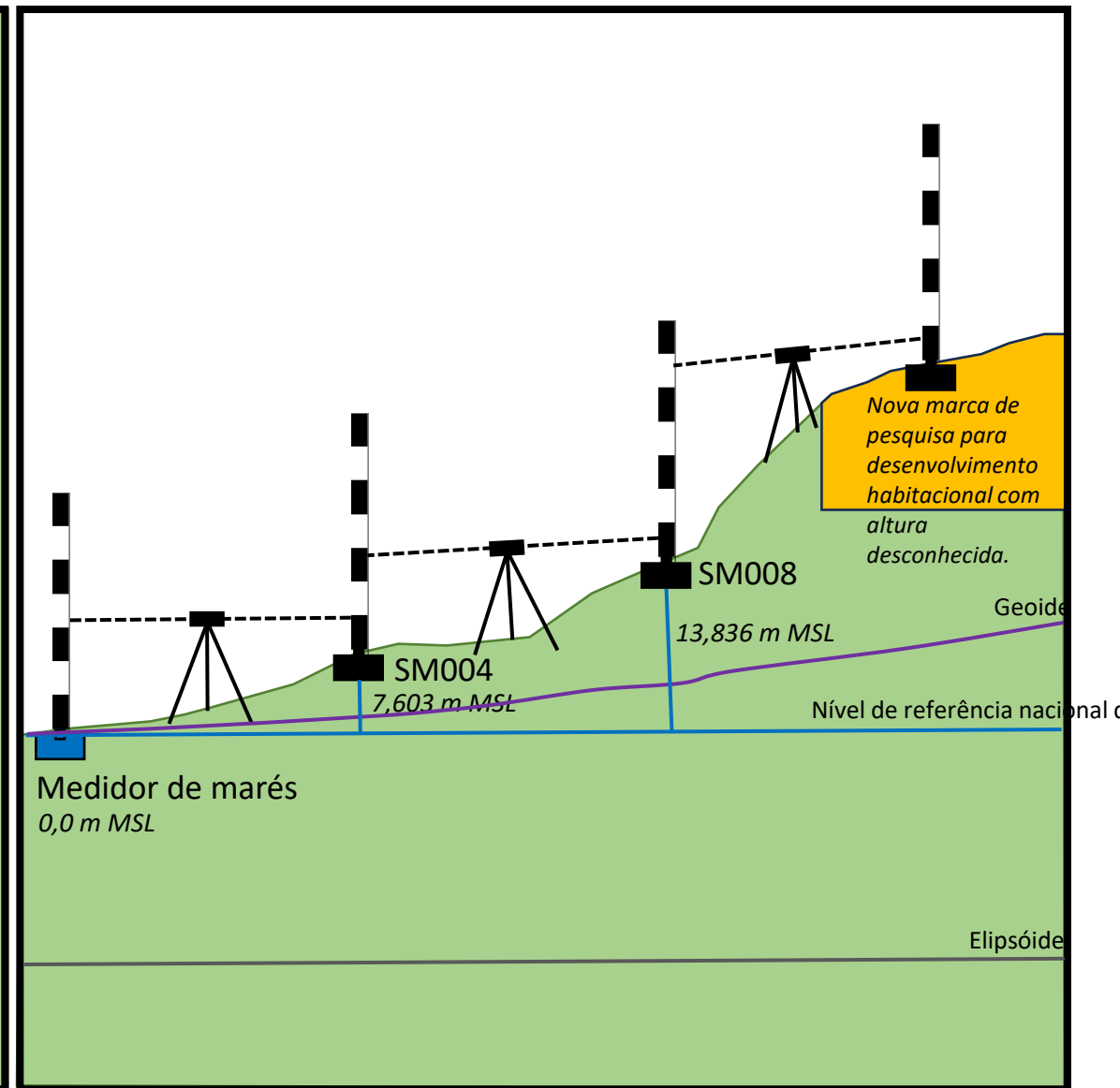
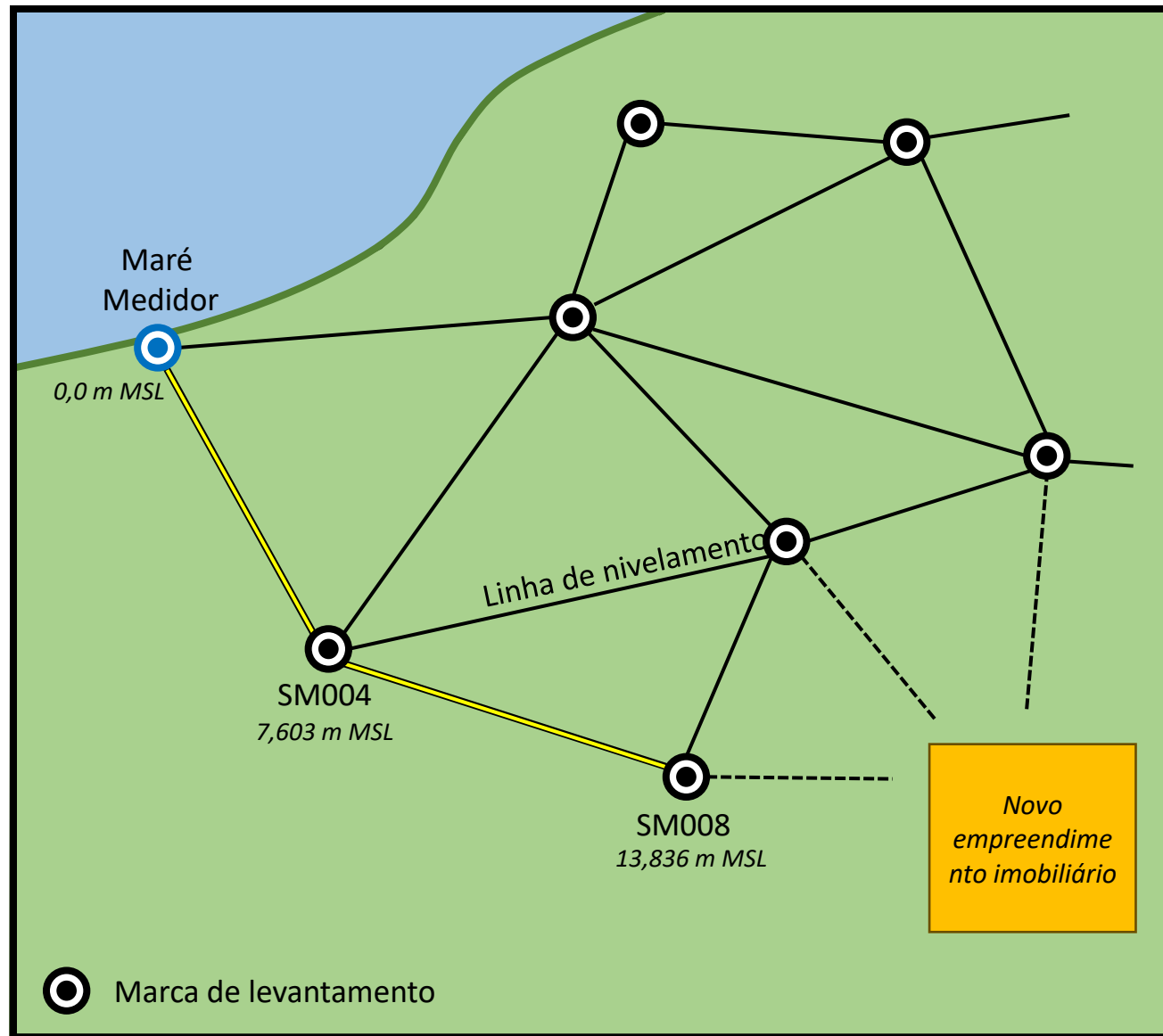
- Simples
- Sem significado físico
- Preciso
- Usado pelo GNSS
- A água nem sempre corre para baixo

Alturas referidas ao nível médio do mar

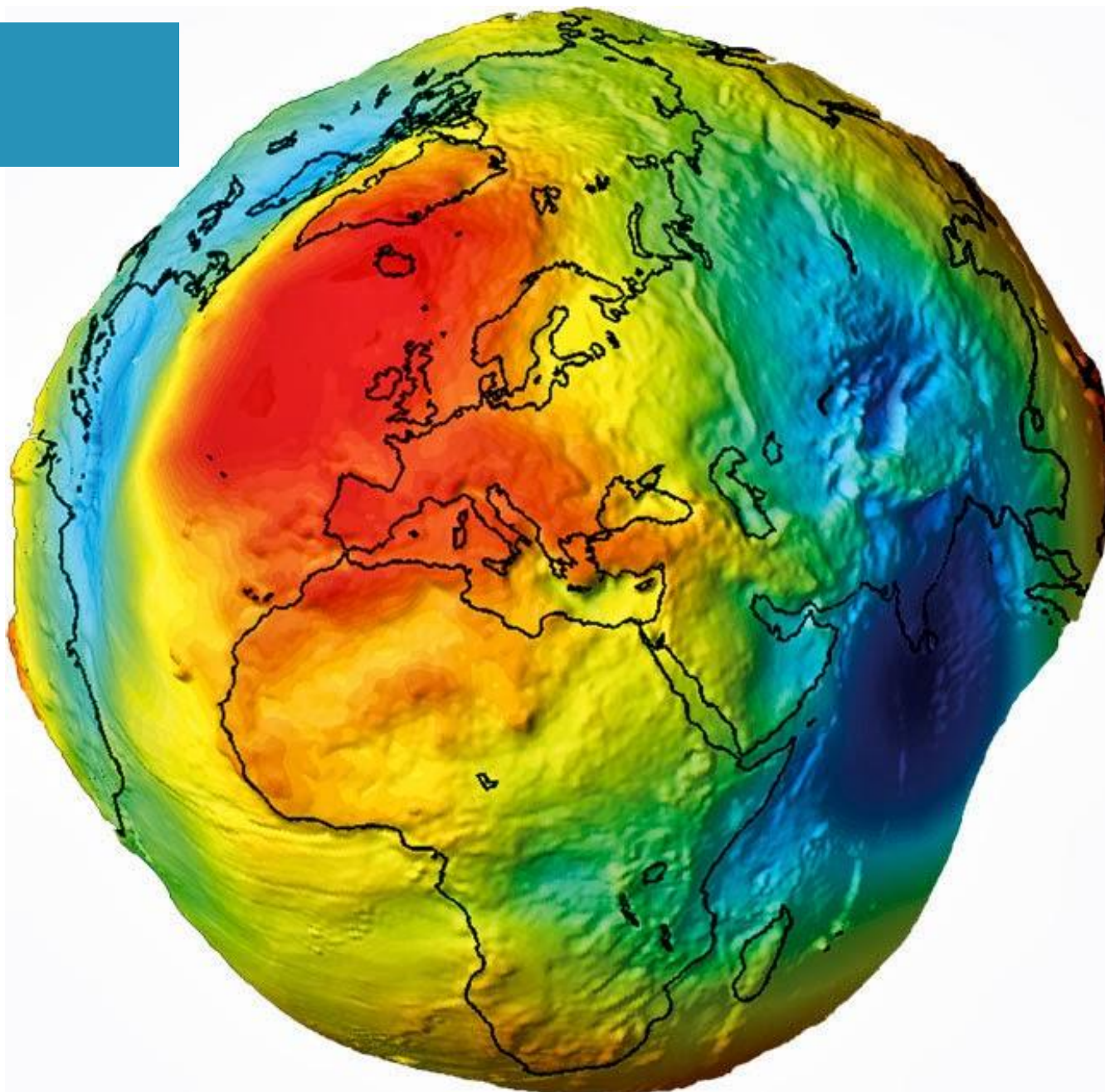
- As alturas niveladas (frequentemente) se referem ao nível médio do mar determinado em marégrafos selecionados.
- A superfície do mar nem sempre está à mesma altura acima do geoide, ela varia devido as correntes oceânicas, a temperatura da água e a salinidade.
- O nível médio do mar pode estar mais próximo ou mais distante da figura de equilíbrio da Terra (geóide), dependendo da localização geográfica.
- Assim, a elevação zero definida por um país (ou região) difere em até ± 2 metros da elevação zero definida por outros países.



Altura de referência em relação ao medidor de marés



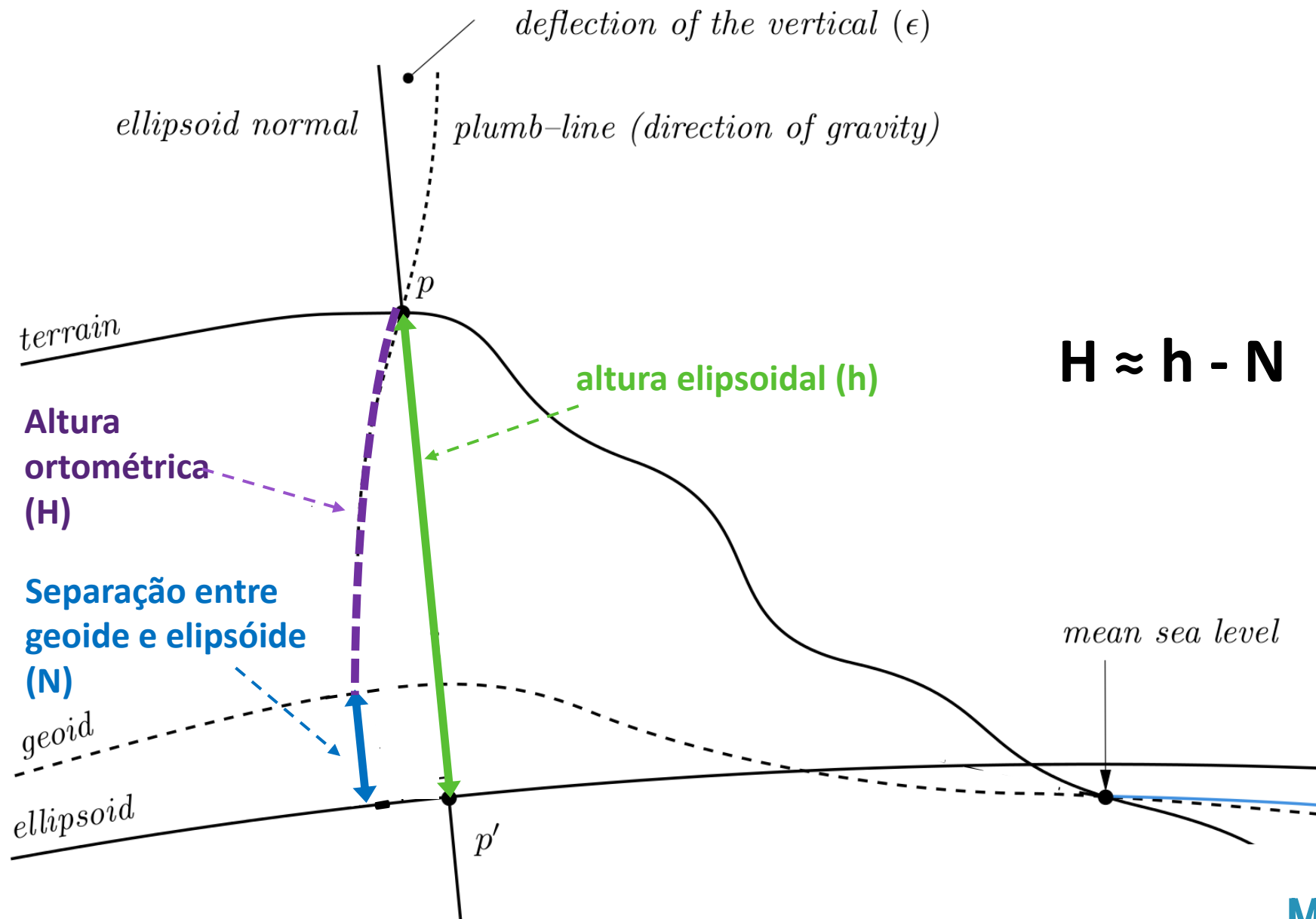
O Geóide

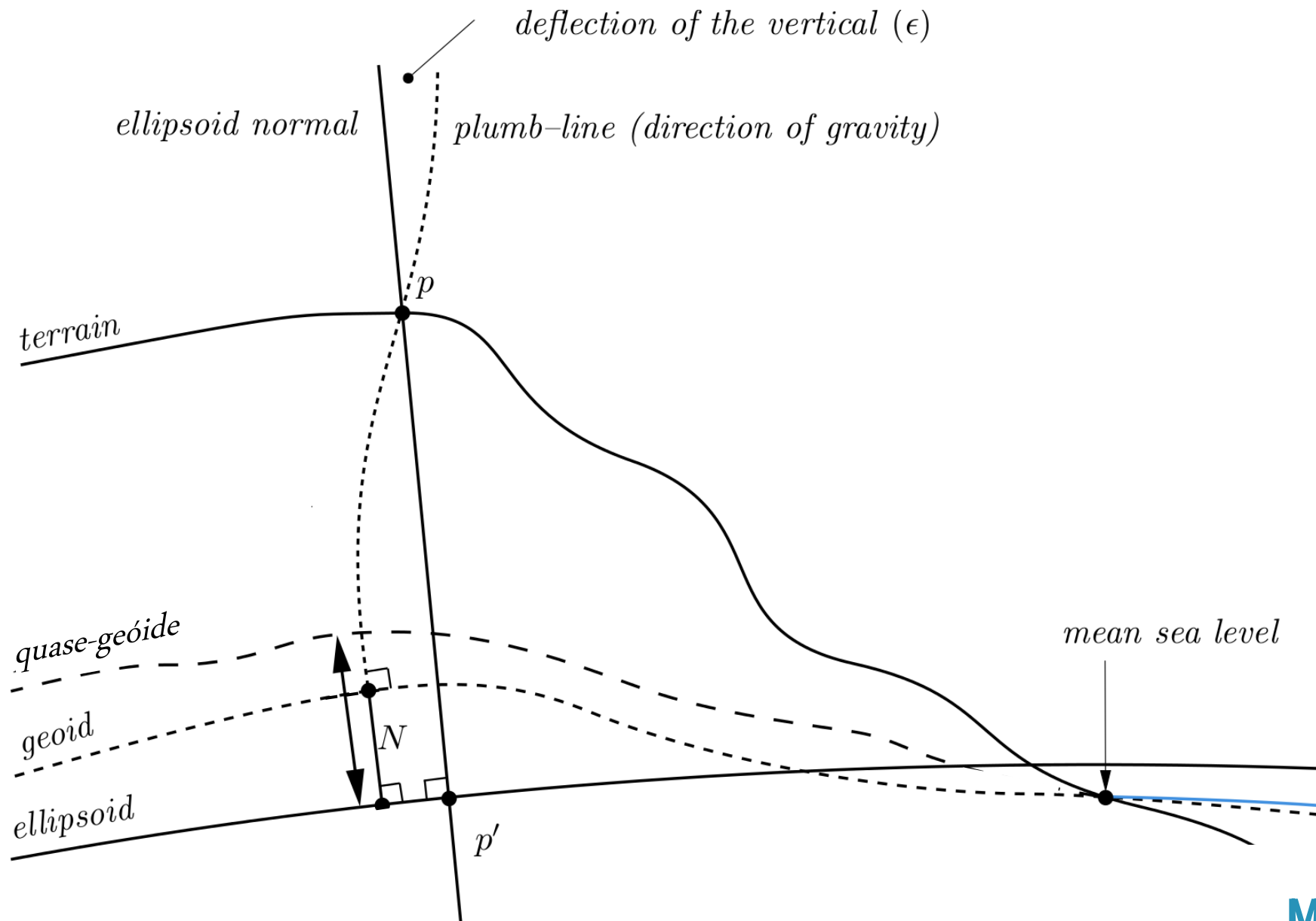


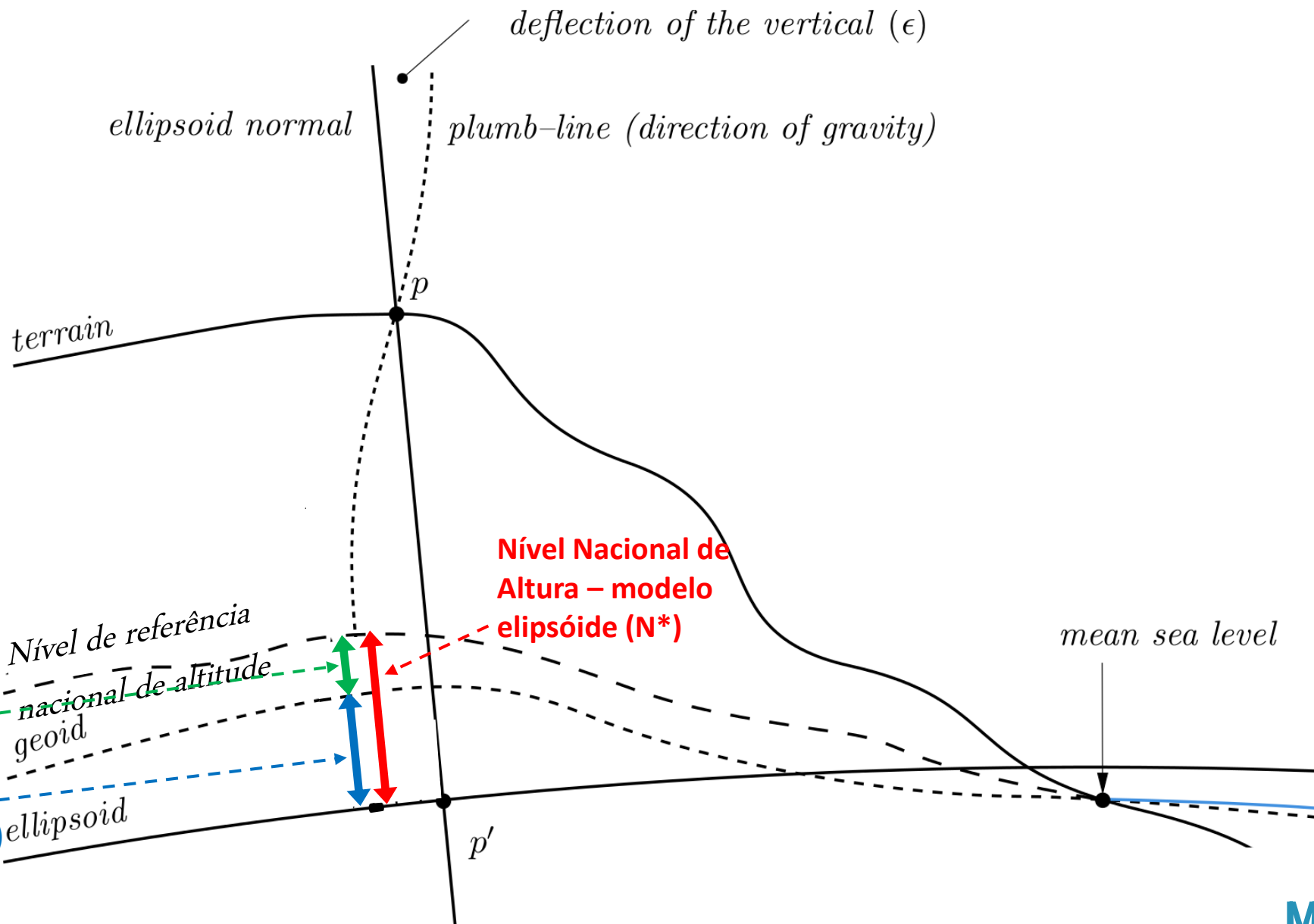
Escala exagerada
para tornar a
diferença visível. Na
realidade ± 150 m.



**MAIS
FORTES.
JUNTOS**







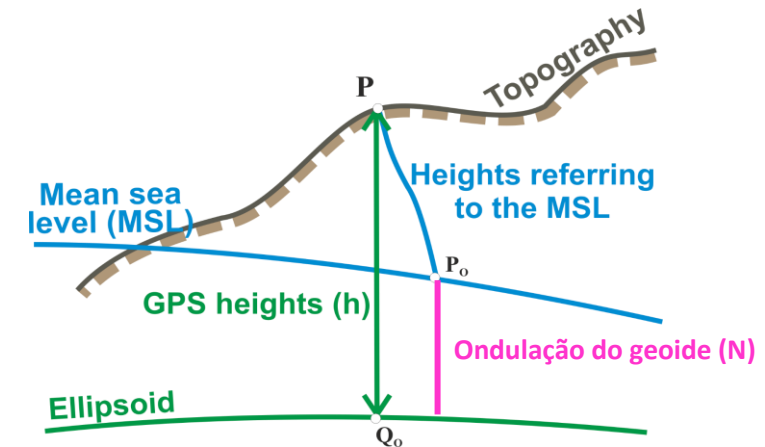
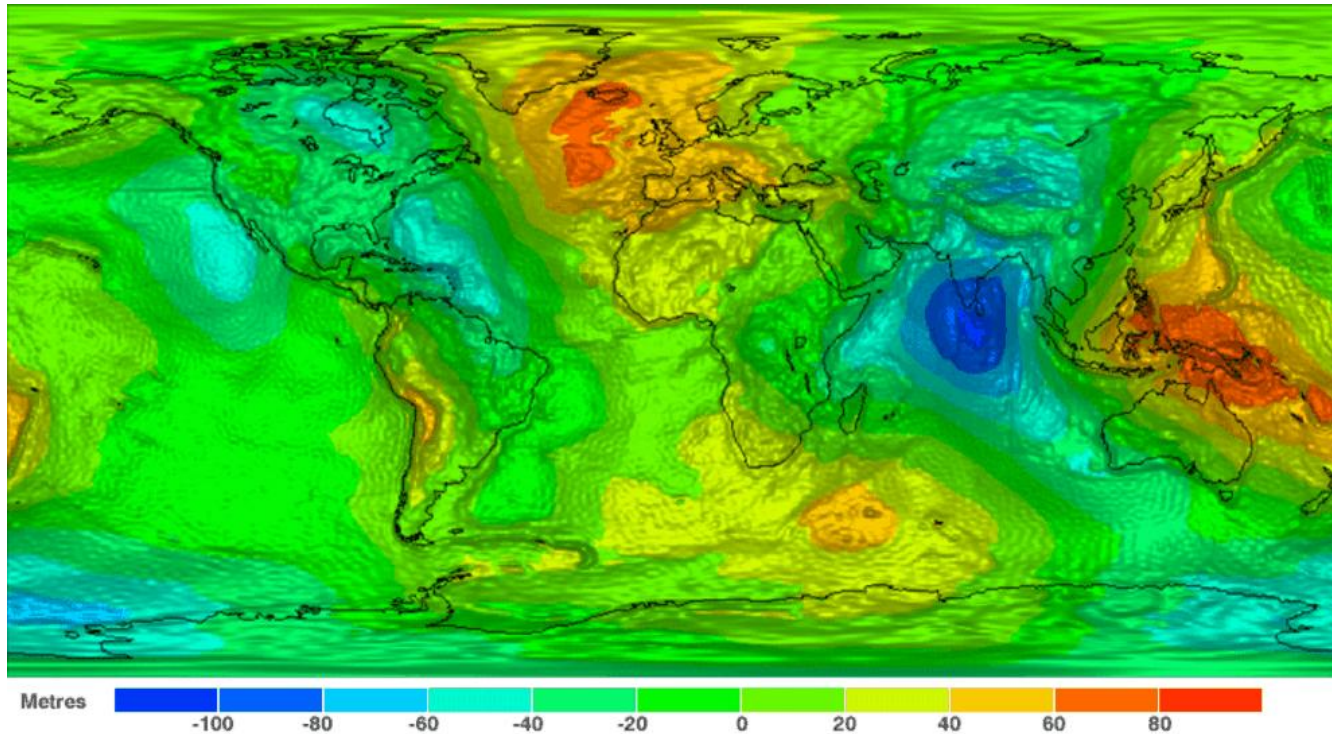
Modelo Nacional de
Superfície de
Correção (C)
Geóide – modelo de
separação elipsóide (N)



MAIS
FORTES.
JUNTOS

Altura geométrica vs altura física

- Diferentes técnicas são utilizadas para determinar alturas.
- No entanto, não há garantia de que cada técnica produzirá a mesma altura.
- As alturas determinadas com GNSS não se referem à superfície média do mar, mas ao elipsóide (um modelo geométrico da Terra).
- As diferenças entre as alturas GNSS e as que se referem à superfície média do mar podem atingir até ± 100 m.

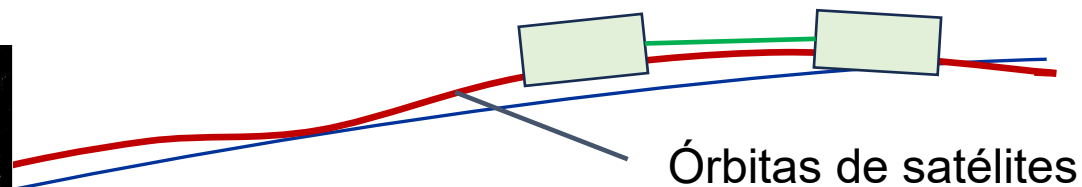
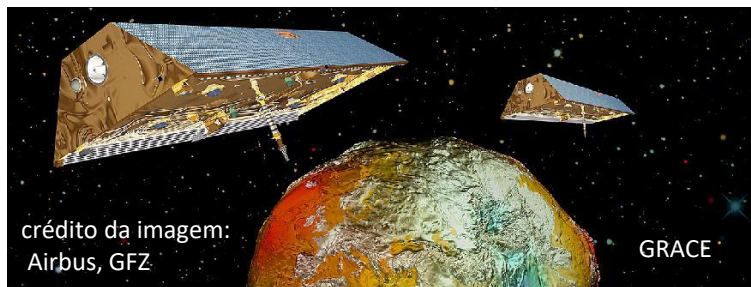


Diferenças em metros entre as alturas GNSS e alturas em relação ao nível médio do mar (©ESA)

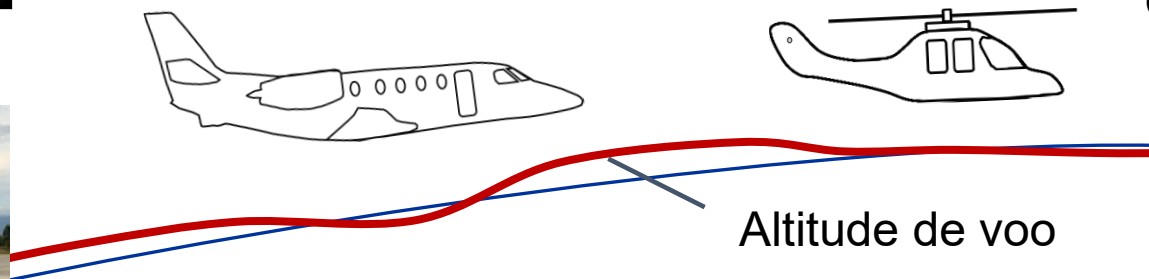
$$H = h - N$$

Criação de um modelo geoidal

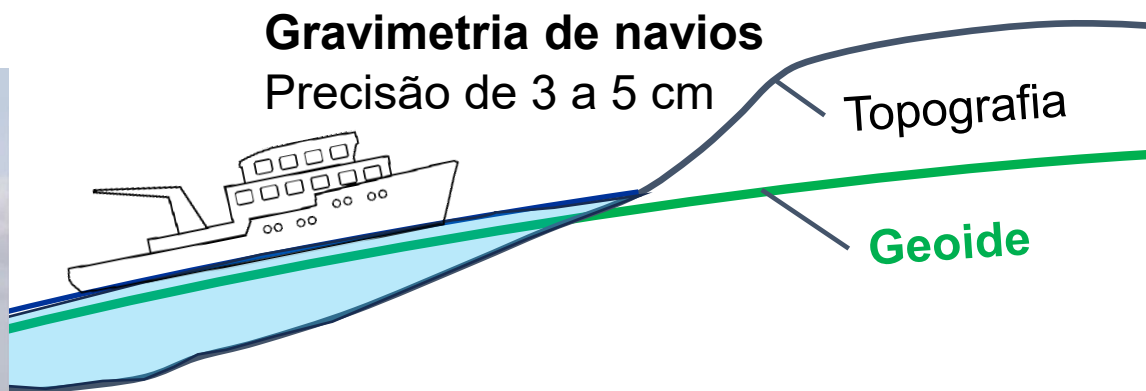
Medições da gravidade



Gravimetria por satélite
Precisão de 20 cm



Gravimetria aérea
Precisão de 3 a 5 cm



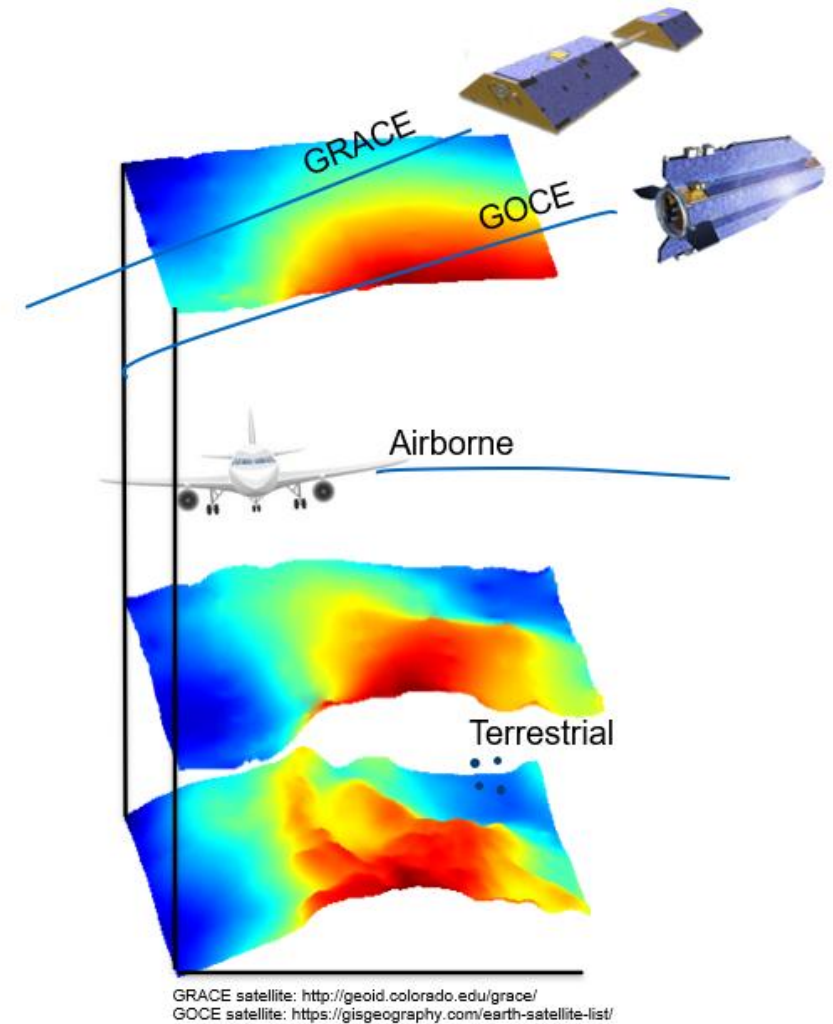
Gravimetria de navios
Precisão de 3 a 5 cm



Gravimetria Terrestre
Precisão de 2 cm

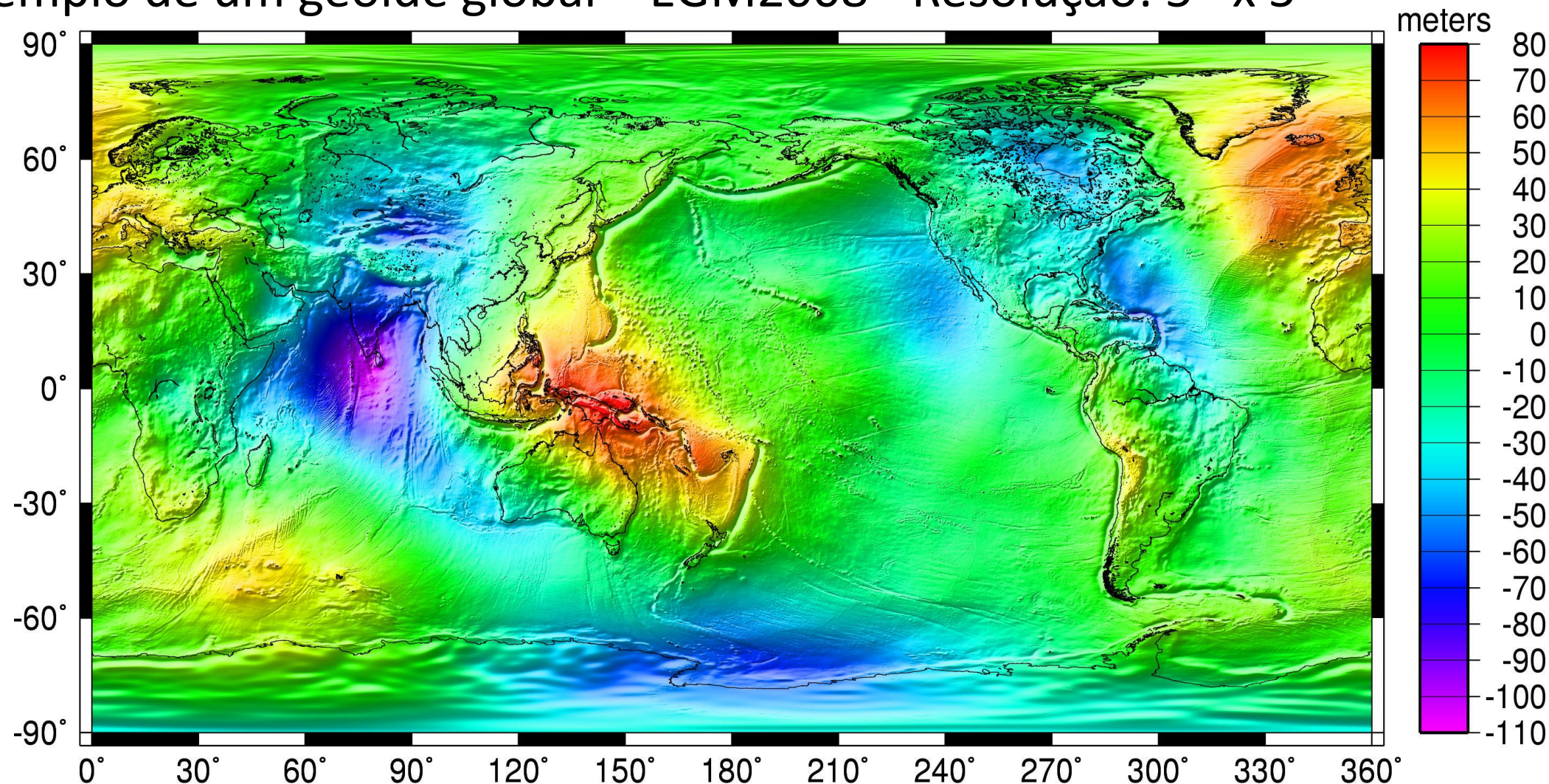
Dados físicos

- A determinação do potencial gravitacional em qualquer ponto requer anomalias gravitacionais em toda a Terra.
 - A contribuição do comprimento de onda longo N_G é fornecida por um conjunto de coeficientes harmônicos esféricos (geopotencial ou modelo de gravidade global);
 - A contribuição do comprimento de onda médio N_L é estimada a partir das anomalias locais (gravidade terrestre, marinha ou aérea na área de estudo).
 - A contribuição do comprimento de onda curto N_T é calculada utilizando um modelo digital do terreno (alturas topográficas).
 - A ondulação do geoide (ou anomalia de altura) é dada por $N = N_G + N_L + N_T$



Modelo geoidal global (EGM2008)

Exemplo de um geoide global – EGM2008 - Resolução: 5' x 5'



Crédito: N.Pavlis

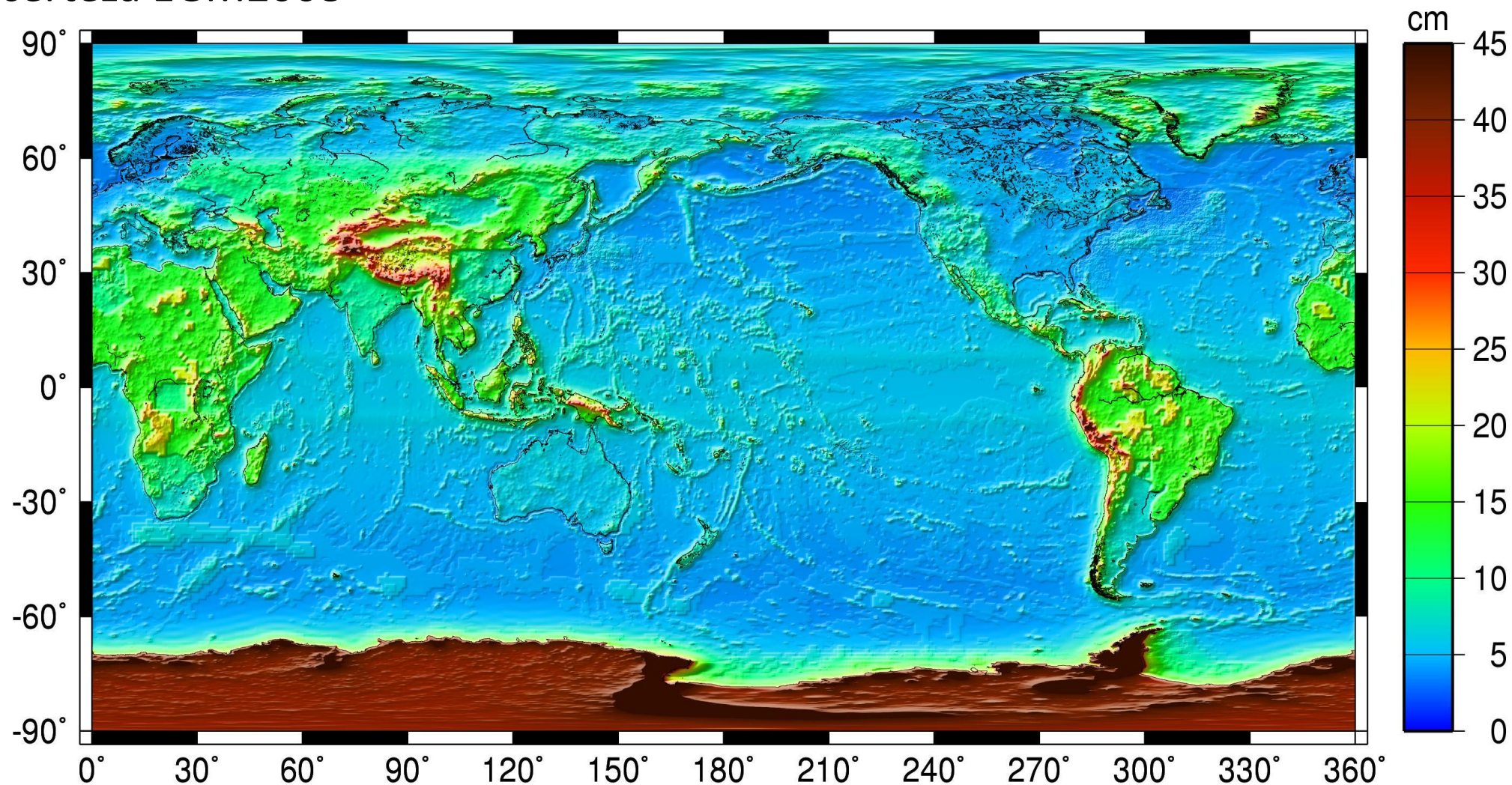
Modelo geoidal global (EGM2008)

- Modelos como o Modelo Geopotencial da Terra 2008 são uma combinação da gravidade espacial, atmosférica, marítima e terrestre e podem servir de base para um repositórios de dados de altitude nacional.
- A quantidade de dados das diferentes regiões no EGM2008 não é a mesma.
- Em alguns casos, os países adicionaram dados gravimétricos adicionais aos modelos EGM2008 para melhorar a precisão do modelo.



Modelo geoidal global (EGM2008)

Incerteza EGM2008



Crédito: N.Pavlis

Outros modelos globais de gravidade



https://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime

ICGEM

Global Gravity Field Models

We kindly ask the authors of the models to check the links to the original websites of the models from time to time.
Please let us know if something has changed.

The table can be interactively re-sorted by clicking on the column header fields (Nr, Model, Year, Degree, Data, Reference).

In the data column, the datasets used in the development of the models are summarized, where **A** is for altimetry, **S** is for satellite (e.g., GRACE, GOCE, LAGEOS), **G** for ground data (e.g., terrestrial, shipborne and airborne measurements) and **T** is for tide.

The links [calculate](#) and [show](#) in the last columns of the table directly invoke the *Calculation Service* and *Visualization page* for the selected model.

For models with a registered **doi** ("digital object identifier") the last column contains the symbol , which directly opens the page on "http://dx.doi.org/".

If you click on the reference, the complete list of references can be seen.

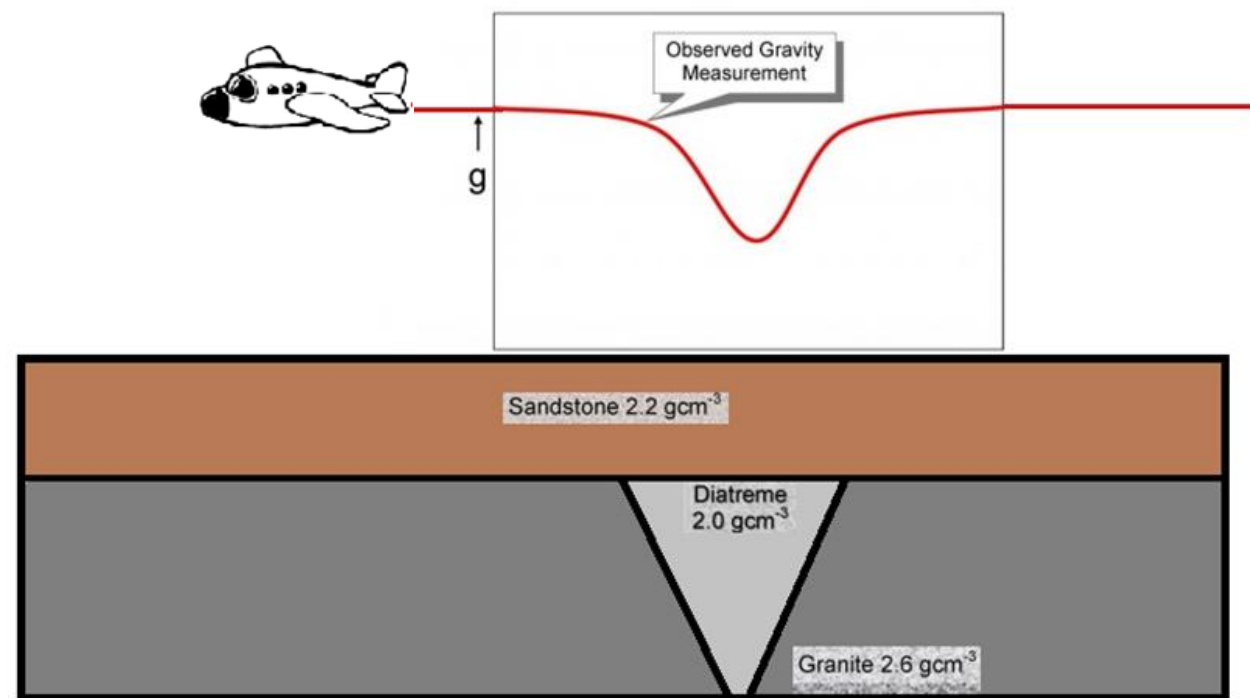
Nr	Model	Year	Degree	Data	References
180	WHU-SWPU-GOGR2022S	2023	300	S (Goce), S (Grace)	Zhao, Yongqi et al 2023
179	GOSG02S	2023	300	S (Goce)	Xu, Xinyu et al 2023
178	Tongji-GMMG2021S	2022	300	S (Goce), S (Grace)	Chen, J. et al, 2022
177	SGG-UGM-2	2020	2190	A, EGM2008, S(Goce), S(Grace)	Liang, W. et al, 2020
176	XGM2019e_2159	2019	2190 5540 760	A, G, S(GOCO06s), T	Zingerle, P. et al, 2019
175	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6e	2019	300	G (Polar), S(Goce)	Zingerle, P. et al, 2019
174	ITSG-Grace2018s	2019	200	S(Grace)	Mayer-Gürr, T. et al, 2018
173	EIGEN-GRGS.RL04.MEAN-FIELD	2019	300	S	Lemoine, J.M. et al, 2019
172	GOCO06s	2019	300	S	Kvas, A. et al, 2021
171	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6	2019	300	S(Goce)	Brockmann, J. M. et al, 2021
170	GO_CONS_GCF_2_DIR_R6	2019	300	S	Bruinsma, S. L. et al, 2014
169	IGGT_R1C	2018	240	G, S(Goce), S(Grace)	Lu, B. et al., 2019
168	Tongji-Grace02k	2018	180	S(Grace)	Chen, Q. et al, 2018
167	SGG-UGM-1	2018	2159	EGM2008, S(Goce)	Liang, W. et al., 2018 & Xu, X. et al. (2017)
166	GOSG01S	2018	220	S(Goce)	Xu, X. et al., 2018
165	IGGT_R1	2017	240	S(Goce)	Lu, B. et al, 2017
164	IFG_GOCE05s	2017	250	S	Wu, H. et al, 2017
163	GO_CONS_GCF_2_SPW_R5	2017	330	S(Goce)	Gatti, A. et al, 2016
162	GAO2012	2012	360	A, G, S(Goce), S(Grace)	Demianov, G. et al, 2012
161	XGM2016	2017	719	A, G, S(GOCO05s)	Pail, R. et al, 2017
160	Tongji-Grace02s	2017	180	S(Grace)	Chen, Q. et al, 2016
159	NULP-02s	2017	250	S(Goce)	A.N. Marchenko et al, 2016
158	HUST-Grace2016s	2016	160	S(Grace)	Zhou, H. et al, 2016
157	ITU_GRACE16	2016	180	S(Grace)	Akyilmaz, O. et al, 2016

Gravidade aérea

Mede a aceleração vertical total. Precisa de dados GPS e IMU altamente precisos para remover o efeito do movimento da aeronave e recuperar um sinal de gravidade.

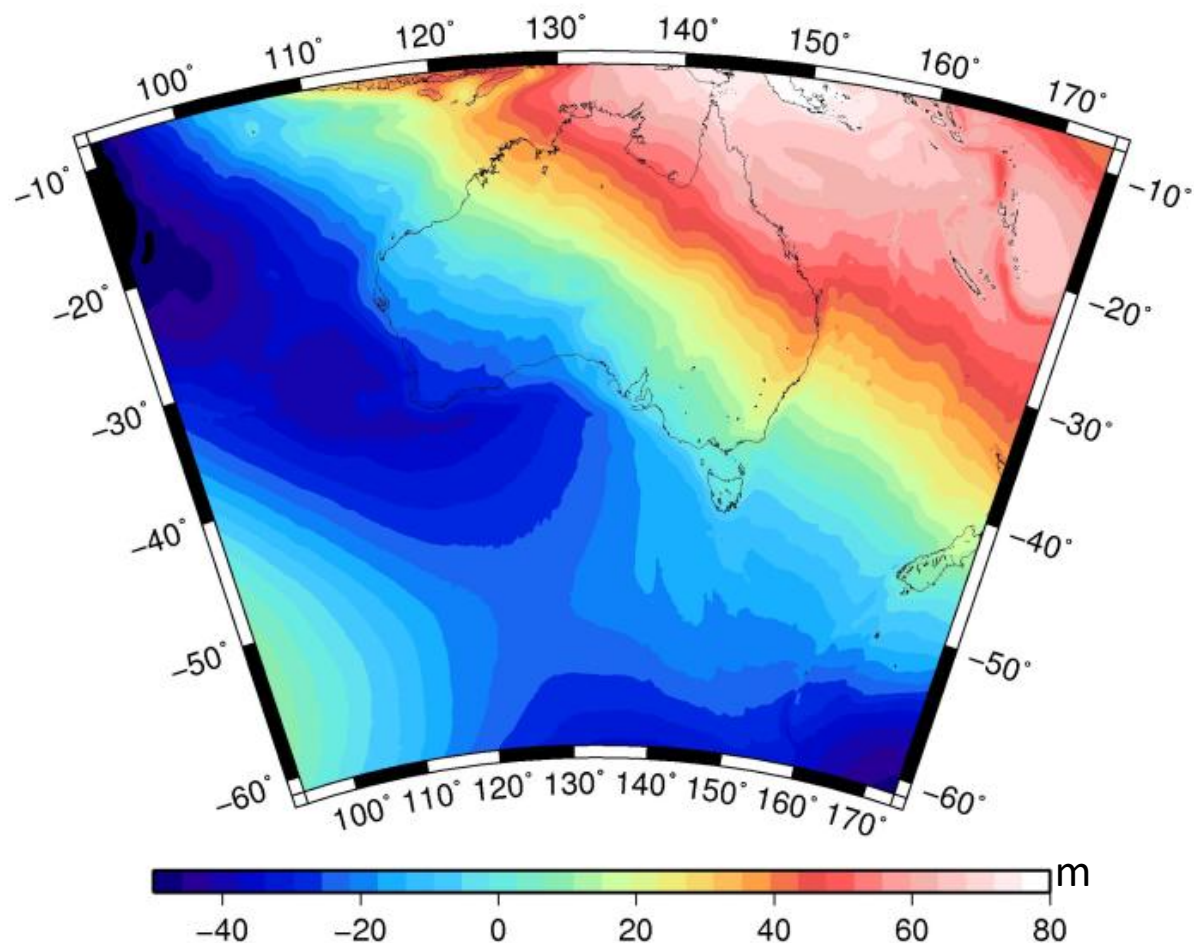
Benefícios das observações da gravidade aérea

- ✓ Fácil obtenção de cobertura consistente em áreas que de outra forma seriam inacessíveis (montanhas, regiões costeiras rasas)
- ✓ Cobre grandes áreas de forma rápida e econômica em comparação com os métodos terrestres.
- ✓ Pode cobrir facilmente a zona litorânea, onde há grandes erros na altimetria por satélite e os métodos terrestres/navais não são práticos.

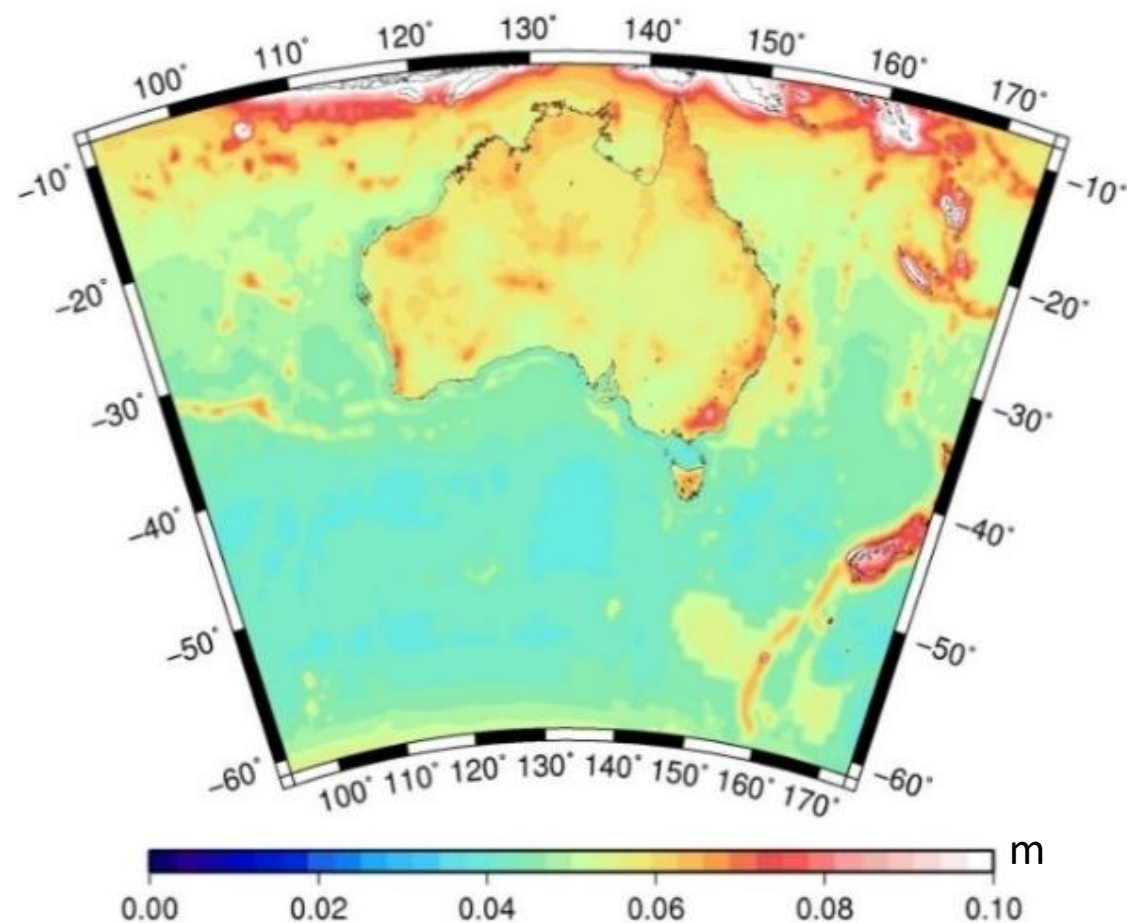


Exemplo de modelo geoidal EGM2008+aéreo (parcial)+terrestre

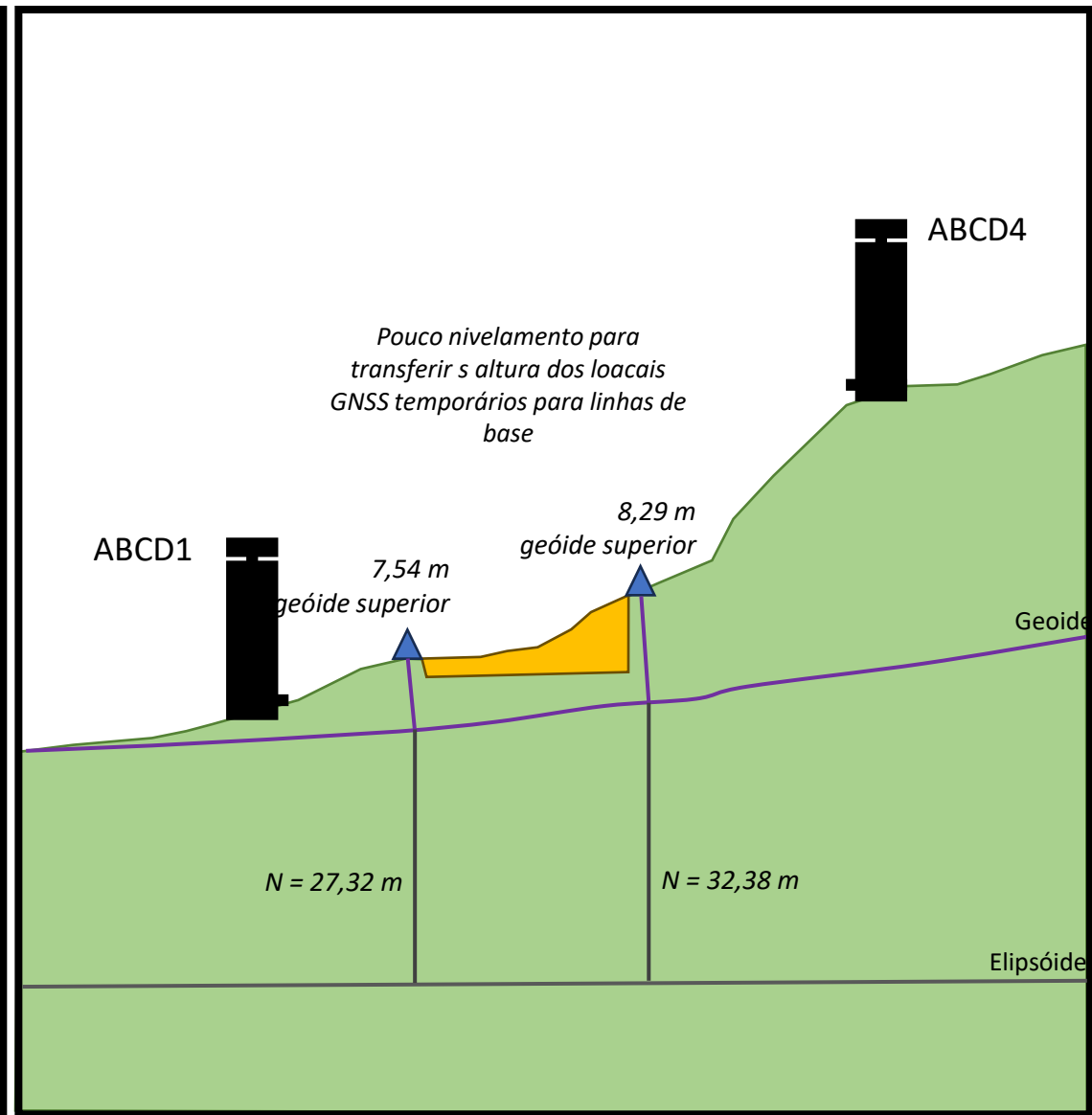
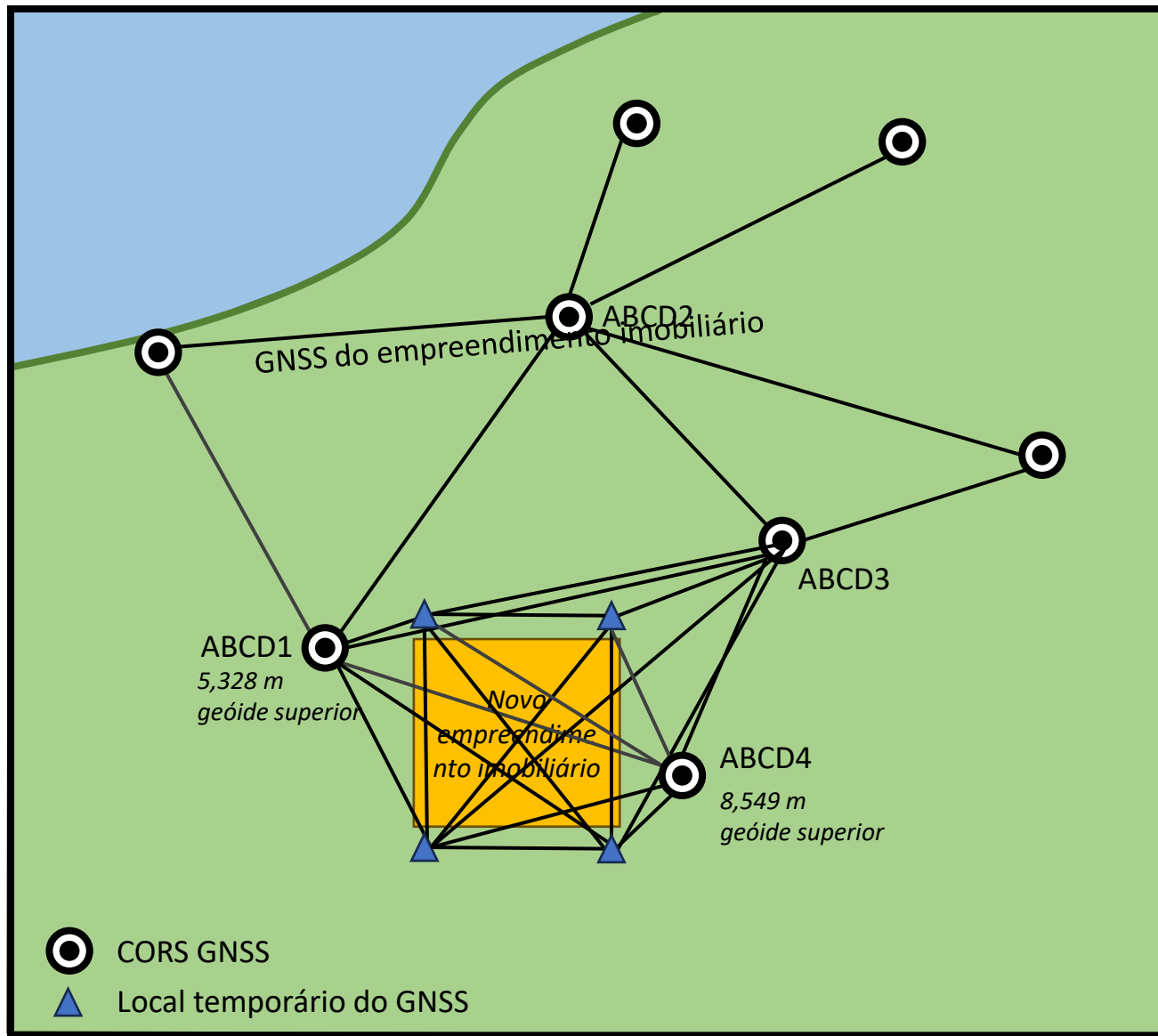
Quase-geóide gravimétrico
australiano 2017 (AGQG2017)



AGQG2017 - Incerteza



Referência de altura referenciada ao modelo geoidal



Considerações para um repositório de dados vertical baseado no modelo geoidal

- Requer operação permanente de uma rede CORS com ampla distribuição de estações em todo o país.
- Em grande parte do mundo, os conjuntos de dados disponíveis para avaliar a qualidade dos modelos geóides precisos são escassos (GNSS de alta qualidade e redes de nivelamento). Muitos países também não dispõem dos dados de gravidade necessários.
- A técnica mais popular para criar o modelo de gravidade de entrada é a combinação de dados aéreos e terrestres de satélite.
- A transição de qualquer repositório de dados vertical para outro deve ser acompanhada por uma superfície de transformação para permitir a rastreabilidade ao padrão antigo.



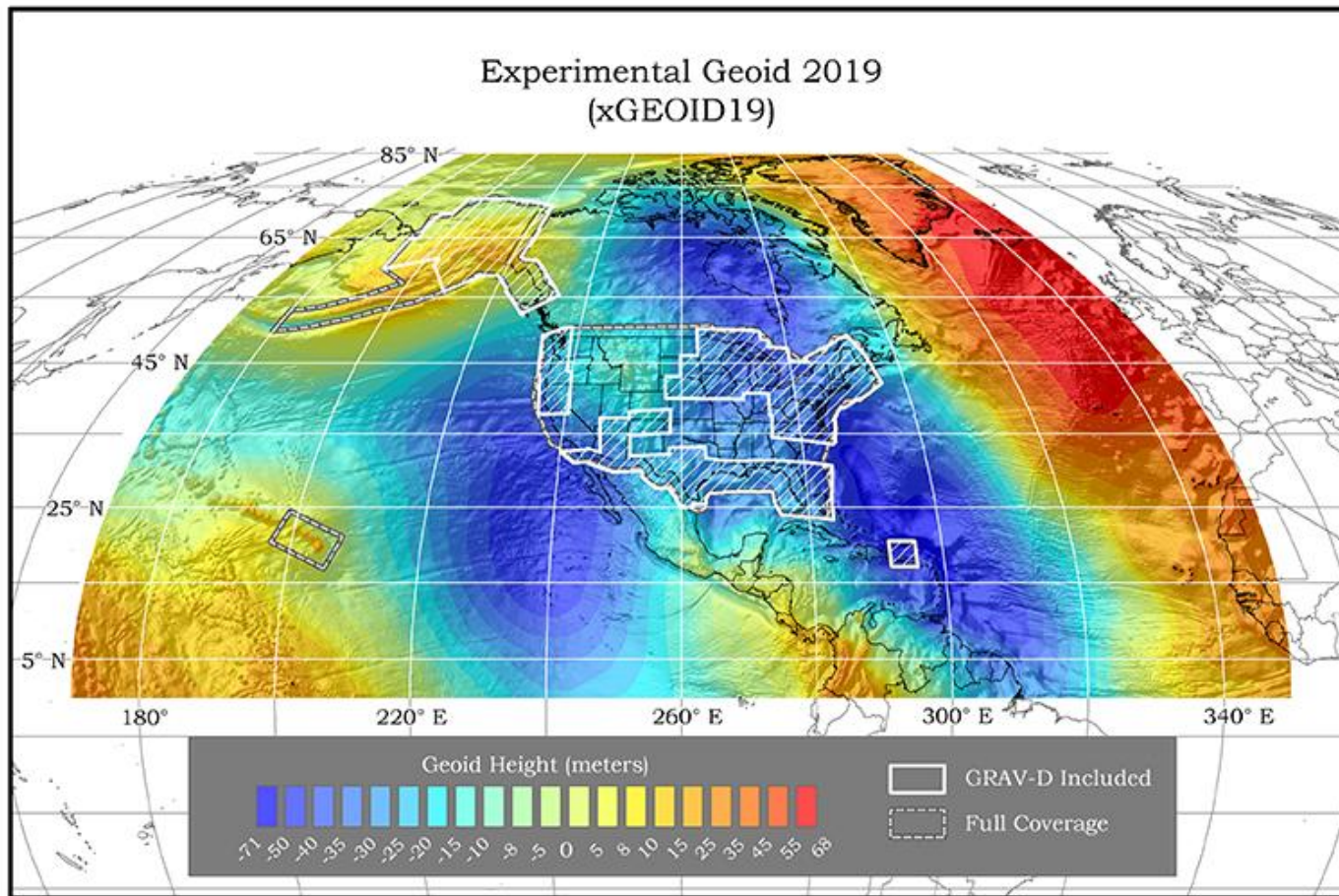
Considerações para um repositório de dados vertical baseado no modelo geoidal

- Você precisa de uma rede GNSS CORS confiável
- Você precisa de um modelo geoidal mais preciso do que sua rede de nivelamento atual.
- Os usuários precisam ser proficientes no uso do GNSS para determinar uma rede de altura local.
- Pode permitir que os custos de manutenção contínua das marcas no solo sejam redirecionados para observações de gravidade e modelo geoidal.
- Particularmente relevante para países grandes e/ou países com elevação da superfície (por exemplo, mais frios)

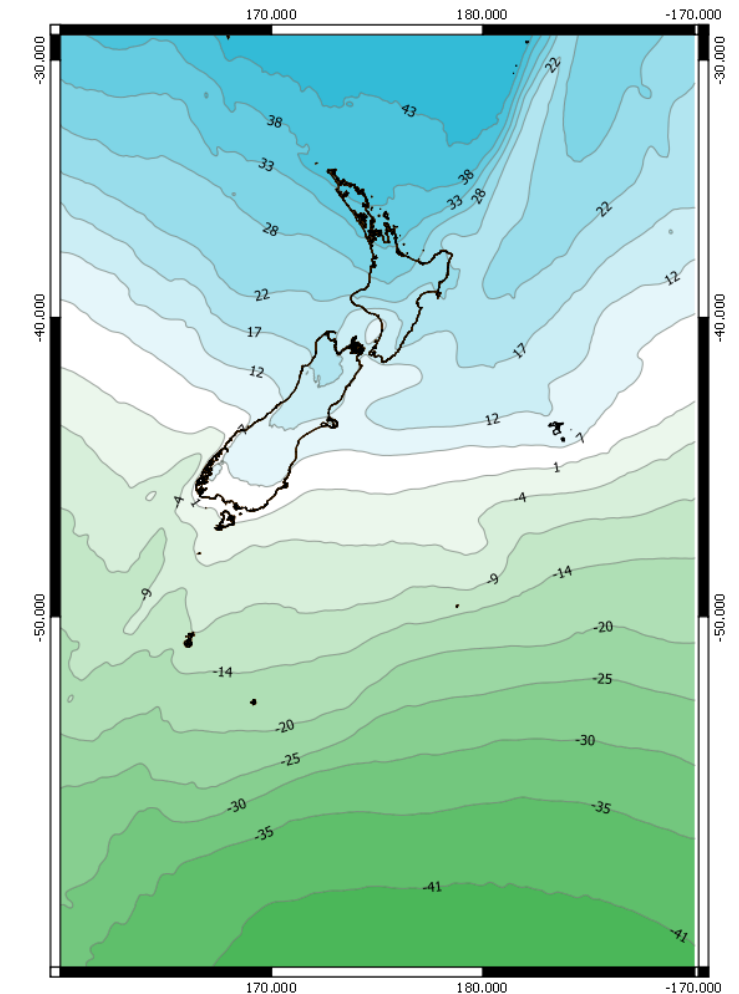


Modelos geoidais dos EUA e da Nova Zelândia

NZGeoid2016



Fonte: <https://beta.ngs.noaa.gov/GEOID/xGEOID19/>



Fonte: <https://www.linz.govt.nz/data/geodetic-system/datums-projections-and-heights/vertical-datums/new-zealand-quasigeoid-2016-nzgeoid2016>

Fluxo de trabalho LSC no GitHub

 GeoscienceAustralia / analysis-ready-gravity-data-workflow

Type / to search

[Code](#) [Issues](#) [Pull requests](#) [Actions](#) [Projects](#) [Security](#) [Insights](#) [Settings](#)

 analysis-ready-gravity-data-workflow Public

Edit Pins Watch 3 Fork 0 Star 1

main 1 Branch 1 Tags

Go to file

Add file

Code

 Darbeheshti news

3c0fa54 · 4 days ago 36 Commits

document	doc folder	2 weeks ago
functions	little change	2 weeks ago
runPlots	Add files via upload	2 months ago
runPreparation	Add files via upload	2 months ago
runScripts	news	last month
.gitignore	Add files via upload	2 months ago
LICENSE	Create LICENSE	3 weeks ago
README.md	Update README.md	2 weeks ago
RunDemo.m	news	4 days ago

README CC0-1.0 license

About

Analysis ready data for gravity observations is a set of Matlab files to calculate gravimetric quasigeoid.

gravity geoid

Readme

CC0-1.0 license

Activity

Custom properties

1 star

3 watching

0 forks

Report repository

Releases

1 tags

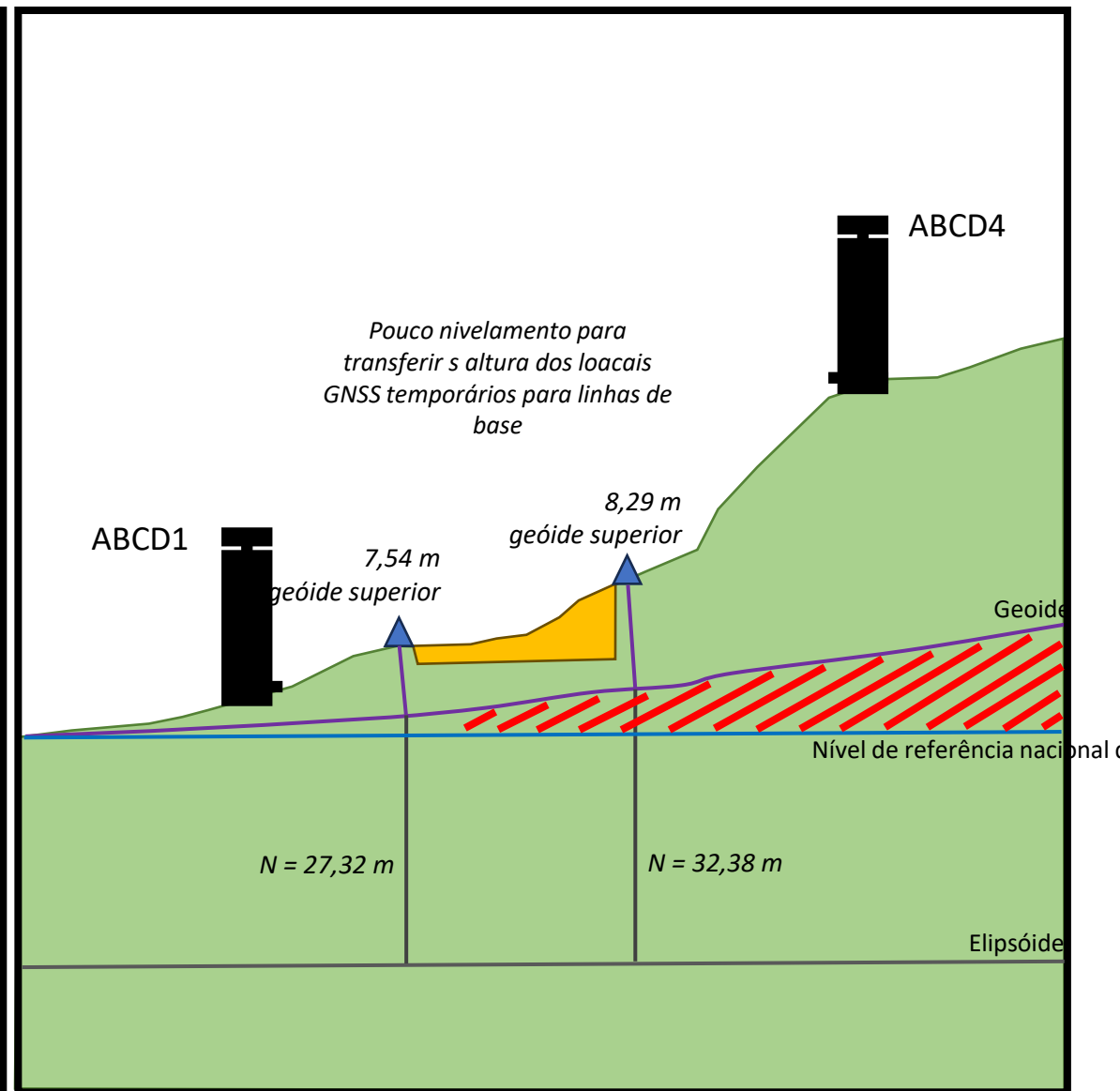
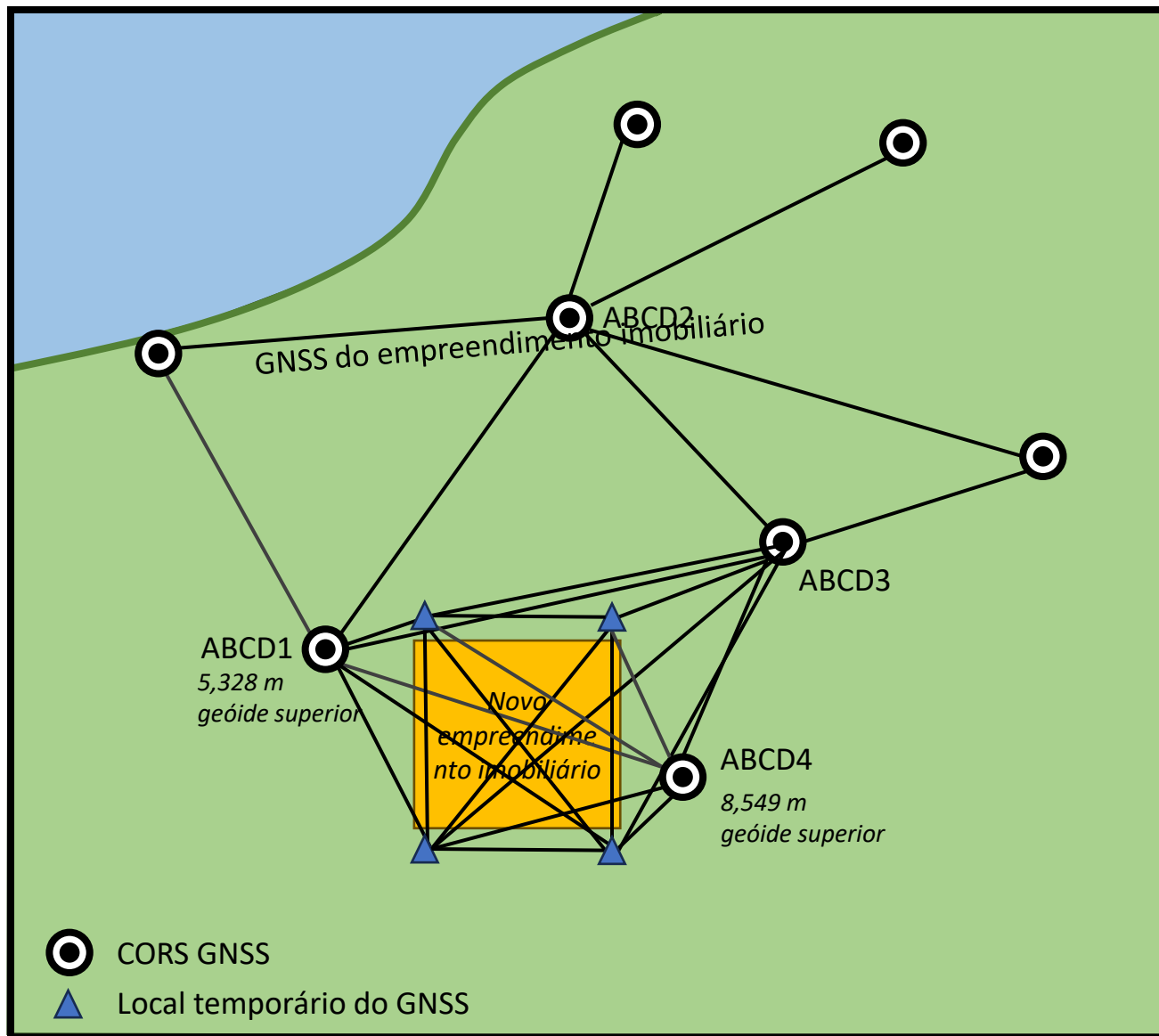
[Create a new release](#)

<https://github.com/GeoscienceAustralia/analysis-ready-gravity-data-workflow>

Superfície do corretor (h , H , N)

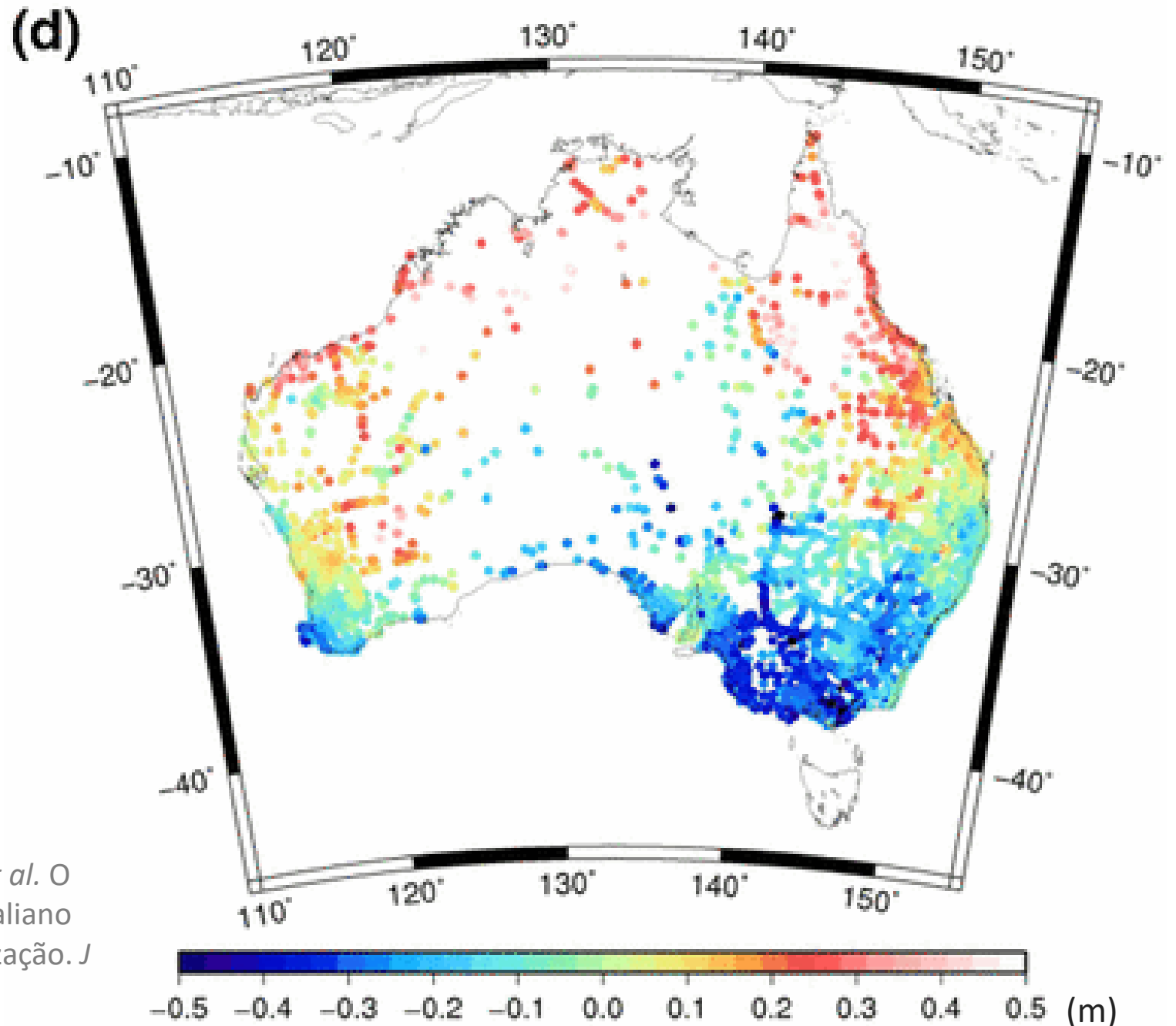
- Correção entre um modelo geoidal e um repositório de dados de altura implementado em um país.
- Modelo de viés, discrepâncias e efeitos sistemáticos em um repositório de dados de altura quando foi realizado ou desde sua realização.
 - Os erros residuais $\varepsilon = h - H - N$ são modelados usando um modelo paramétrico (superfície corretora), que pode ser baseado em um viés simples, um viés e uma inclinação, polinômios de ordem superior com diferentes funções básicas, modelos de elementos finitos, séries de Fourier ou abordagens baseadas em colocação de mínimos quadrados.
 - Os parâmetros desconhecidos para a superfície do corretor selecionado são obtidos por meio de um ajuste comum de mínimos quadrados dos dados elipsoidais, ortométricos e de altura do geoide em uma rede de referências de nivelamento GNSS co-localizadas.

Repositório de dados de altura referenciado ao modelo geoidal + superfície corretora



Diferenças entre o quase-geóide gravimétrico e geométrico nas 7224 estações GNSS-AHD no continente

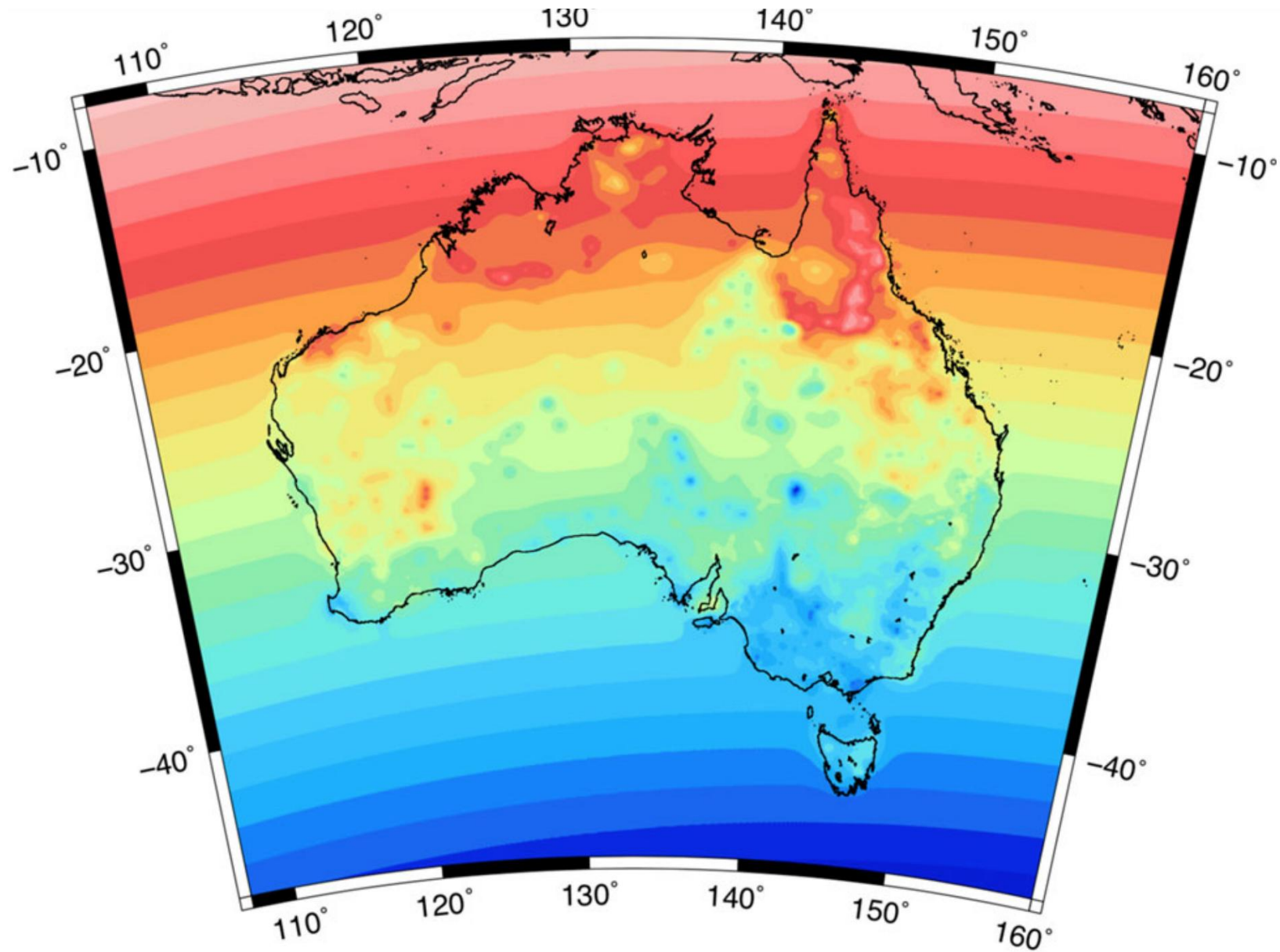
- Inclinação norte-sul
- Preconceitos regionais
- Erros de nivelamento



Featherstone, W.E., McCubbine, J.C., Brown, N.J. *et al.* O primeiro modelo gravimétrico quase-geoidal australiano com estimativas de incerteza específicas por localização. *J Geod* **92**, 149–168 (2018).

<https://doi.org/10.1007/s00190-017-1053-7>

Superfície do corretor (h, H, N)



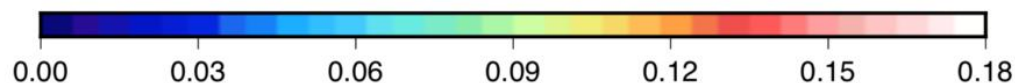
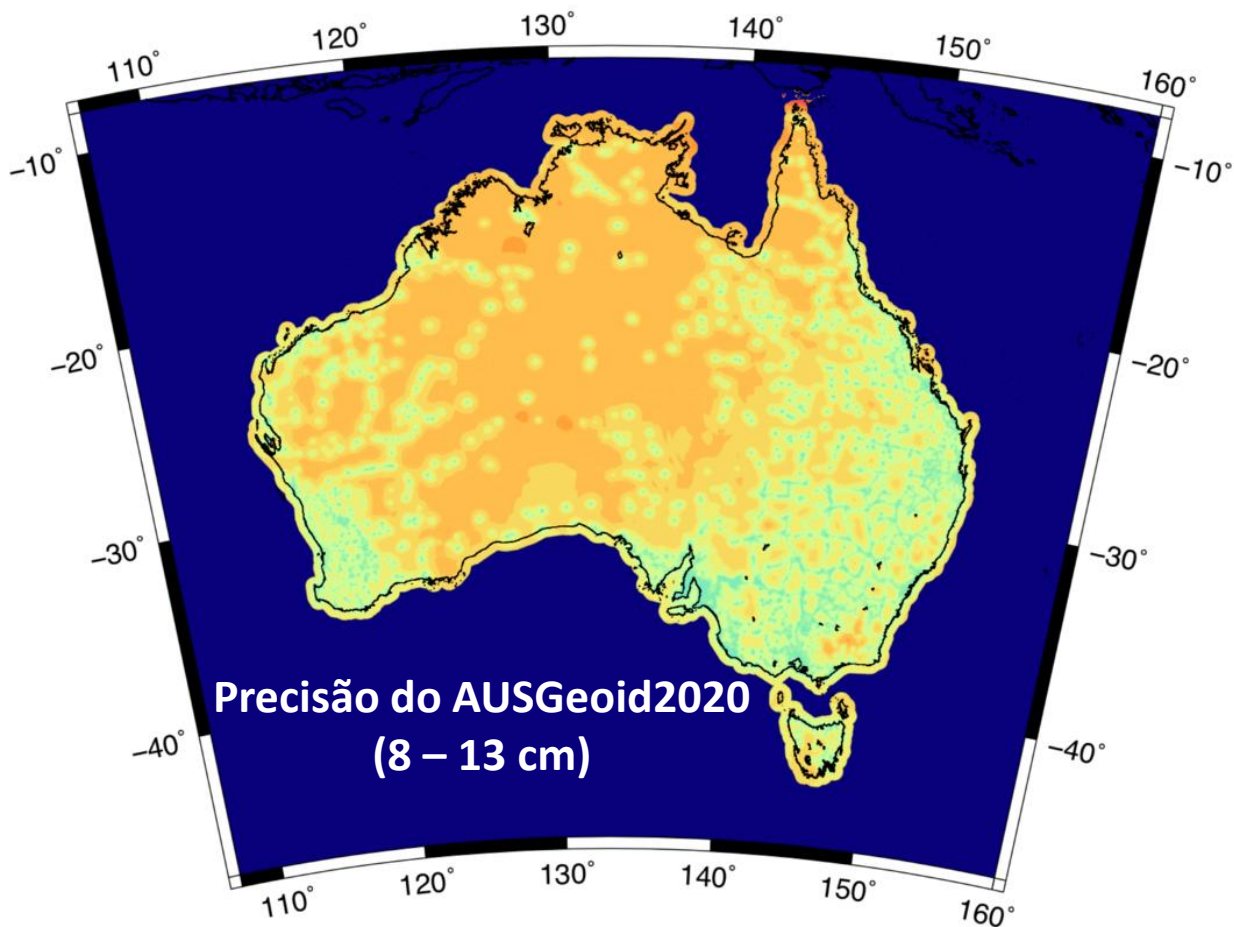
Superfície do corretor (h , H , N)

Observações:

- É desejável um conjunto bem distribuído de pontos de nivelamento co-localizados com posicionamento GNSS;
- A aplicabilidade da superfície corretora depende do número e da qualidade dos pontos incluídos com dados co-localizados (h , H , N);
- Quanto mais pontos, melhor será a superfície do corretor;
- Quanto melhor for a distribuição geográfica dos dados co-localizados, melhor será a superfície do corretor;
- Os pontos GNSS e os pontos de nivelamento de baixa ordem não devem ser incluídos;
- Os dados previstos são as incertezas de altura; os dados originais não são melhorados.

Solução de dois sistemas

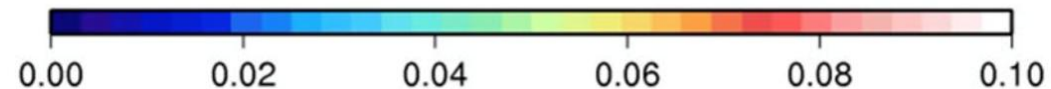
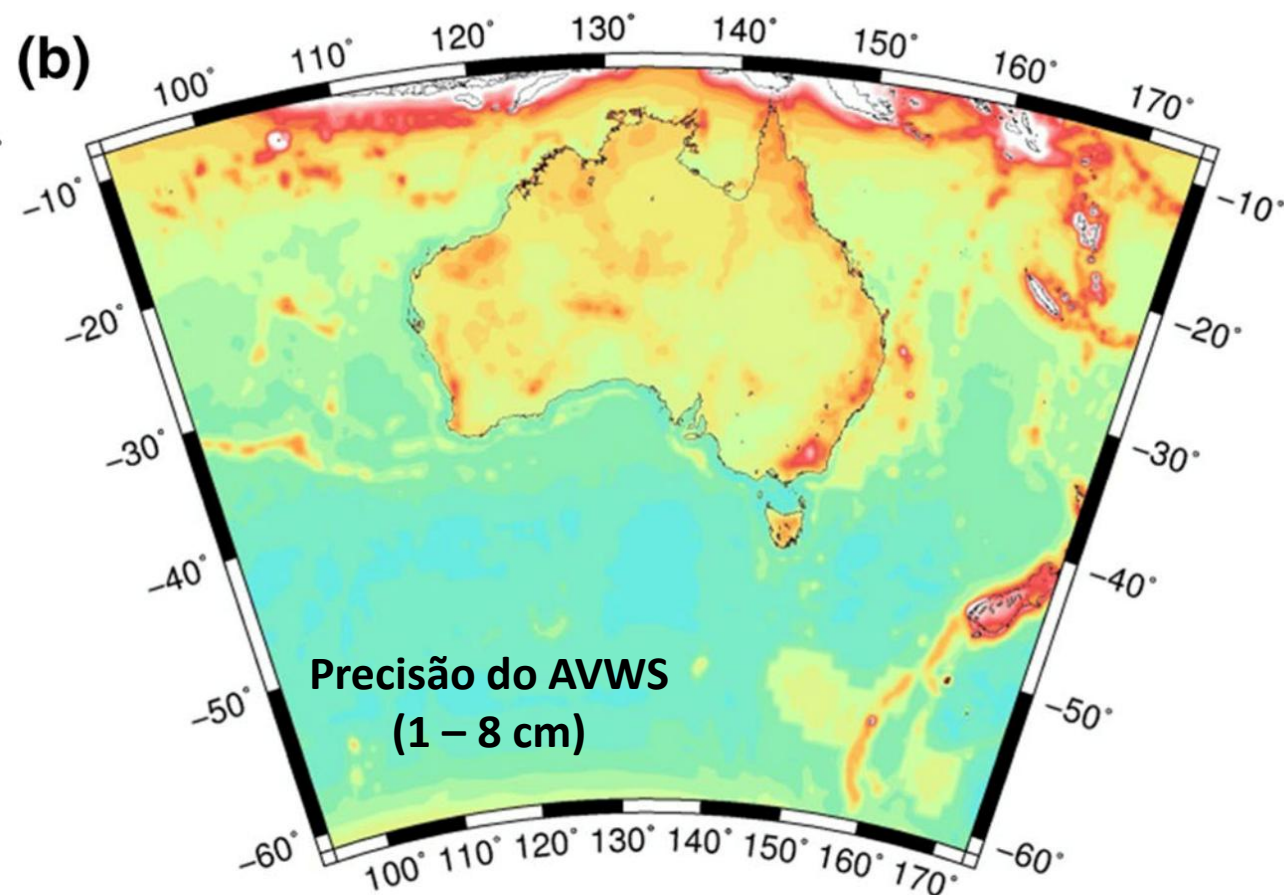
Gravimétrico + Geométrico



Brown et al. (2018), Revista de Geodésia

Gravimétrico

(b)



Featherstone et al. (2017), Revista de Geodésia