Estado del IHRF en la región SIRGAS

Gabriel do N. Guimarães

gabriel@ufu.br

Presidente del GT-III SIRGAS

Webinar SIRGAS: Sistemas de Alturas y Gravedad
2 al 6 de mayo de 2022

SIRGAS
sirgas.ipgh.org

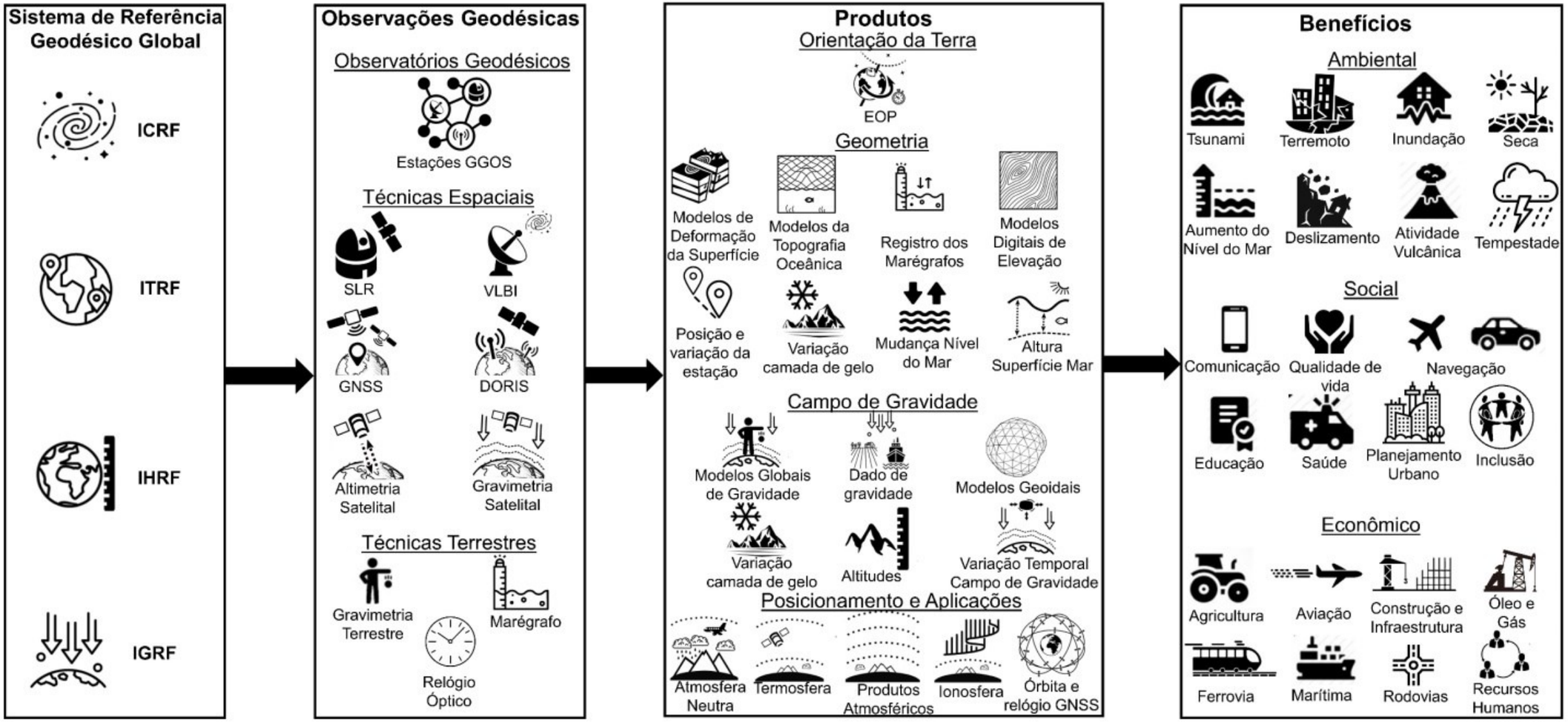
Temas em esta presentación

- ✓ Introducción
  - La línea del tiempo de las “Alturas” en SIRGAS
  - El IHRF (y el GGRF) como beneficios para la sociedad
- ✓ Infraestructura de las Estaciones IHRF
  - Cruces internacionales
  - Situación de las estaciones IHRF
- ✓ Implementación del IHRF en SIRGAS
- ✓ Próximas actividades direccionadas al IHRF en SIRGAS

La línea del tiempo de las "Alturas" en SIRGAS

1997	Creación del Grupo de Trabajo III (Datum Vertical) Alturas basadas en los números geopotenciales Sistema de alturas para el continente
1998	Desarollo del documento técnico "Sistema de Referéncia Vertical para la América del Sur". (Presentado en el Boletin 2002)
2001	Recomendación oficial para la adopción de "alturas normales"
2002	Presentación del documento "La urgente necesidad de un Sistema de Referéncia Vertical Moderno"
2005	Presentación "Hacia un sistema vertical de referencia unificado para América del Sur"
2011	Resolución SIRGAS 2011 No. 01 sobre Los avances en pro del ajuste continental de las redes verticales nacionales en términos de números geopotenciales Jornada Técnica acerca de los "Sistemas de Referencia Verticales a nivel regional y global". Rosario - Argentina
2012	Taller "SIRGAS Workshop on Vertical Networks Unification". Rio de Janeiro - Brasil
2014	Escuela SIRGAS en Sistemas Verticales de Referencia. La Paz - Bolivia
2015	Taller SIRGAS GT-III (Datum Vertical). Curitiba - Brasil
2016	Taller SIRGAS GT-III (Datum Vertical). Quito - Ecuador Resolución SIRGAS 2016 No. 2 "Acciones para la implementación del IHRF en la región"
2017	Taller SIRGAS GTIII 2017. Heredia - Costa Rica Resolución SIRGAS 2017 No. 2 "Avanzos en la implementación del International Height Reference System (IHRF) en la región"
2018	Taller SIRGAS GTIII 2018. Aguas Calientes - Mexico
2020	Webinar "Sistema Internacional de Alturas - IHRS"
2021	Webinar "El nuevo Sistema de Referencia Internacional de Gravedad (IGRS) y su materialización (IGRF) Participación en el cálculo de los valores de potencial de gravedad para las estaciones IHRF en América Latina Desarrollo de Documentación técnica: 1. Guía para la selección de estaciones IHRF. 2. Guía para la realización de mediciones gravimétricas alrededor de estaciones IHRF

El IHRF (y el GGRF) como beneficios para la sociedad



Guimarães et al. 2022 (bajo revisión). Los íconos que componen la figura fueron desarrollados por GGOS y Geoscience Australian.

El IHRF (y el GGRF) como beneficios para la sociedad

MENU G1 RONDÔNIA REDE AMAZÔNICA

14/02/2014 09h24 - Atualizado em 14/02/2014 09h24

Em RO, água que sai das comportas de usinas aumenta força da correnteza

Não há como comprovar ligação das usinas com cheia do Madeira, diz CPRM. Empreendimentos dizem que apenas liberam a água que chega até as usinas.

Ivanete Damasceno
Do G1 RO

FACEBOOK

Centímetros preciosos

As águas do Madeira correm no sentido de Porto Velho, passando primeiro por Jirau

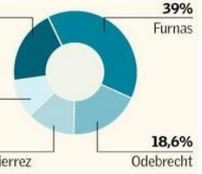
O que vai definir a Aneel

Potência total
Pode aumentar para 3.750 MW (o que já foi aprovado) em Jirau e para 3.569 MW (em aprovação) para Santo Antônio

Ganho total de energia assegurada
Será de 396 MW médios – 207 MW médios em Jirau e 189,3 MW médios em Santo Antônio

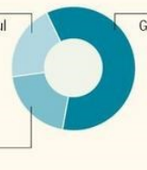
Perde e ganha energético
Com a mudança da cota de Santo Antônio, de 70,5 para 71,3 metros, Jirau deixa de ganhar 50 MW médios que pleiteava, mas o acréscimo total para o sistema é maior com a soma das duas ampliações

Santo Antônio Energia



3.150 MW Potência total
2.218 MW médio Energia assegurada

Energia Sustentável do Brasil

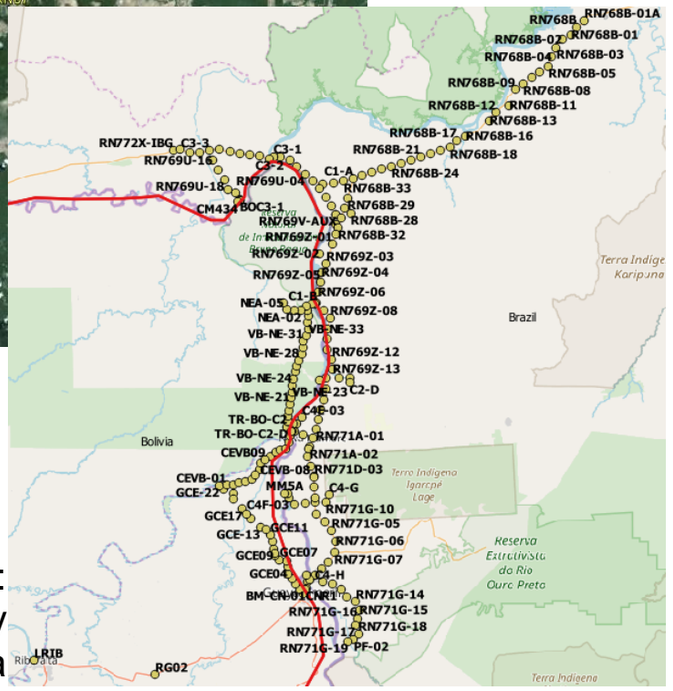


3.300 MW Potência total
1.975 MW médios Energia assegurada

Fonte: Aneel *Formado pelos bancos Banif e Santander **Em análise no BNDES

https://www.ecodebate.com.br/2012/10/11/ampliacao-da-usina-hidreletrica-de-santo-antonio-traz-de-volta-disputa-no-madeira

Estaciones de nivelación y gravimetria para determinar la zona inundada

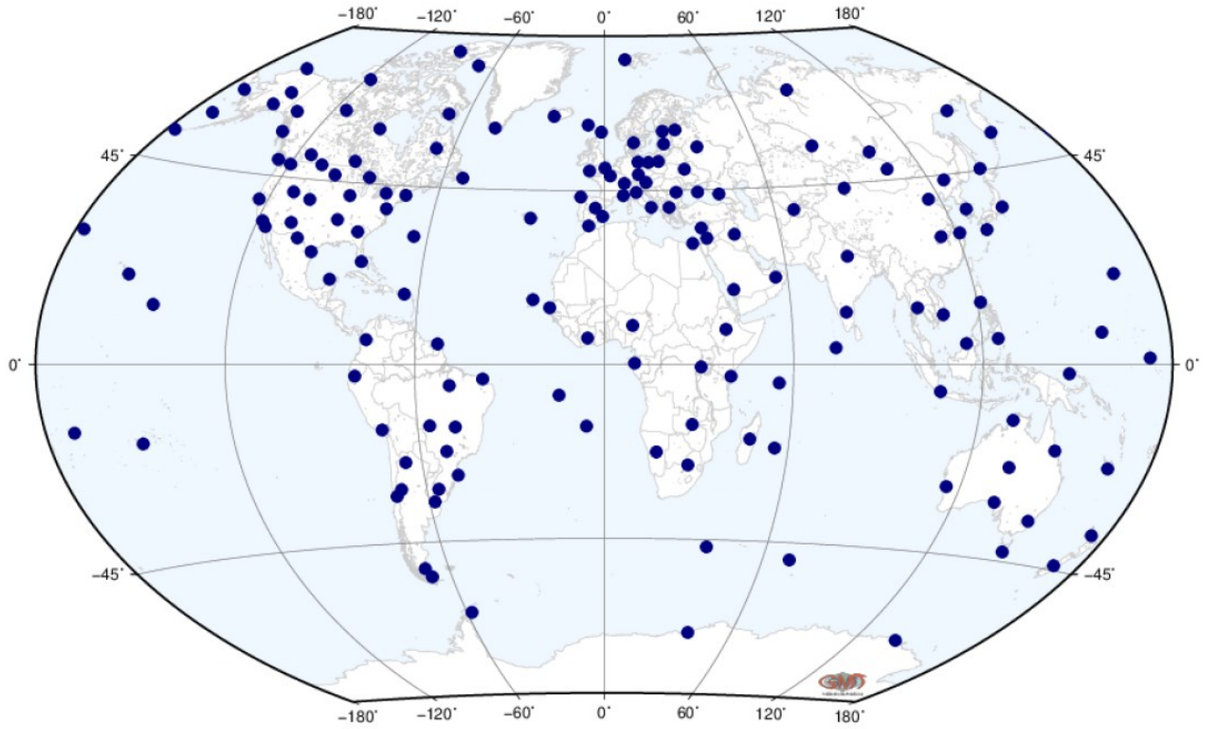


Continuación del proyecto: Líneas de nivelación, GNSS y gravimetria en Brasil y Bolivia

Gracia al Prof. Denizar Blitzkow

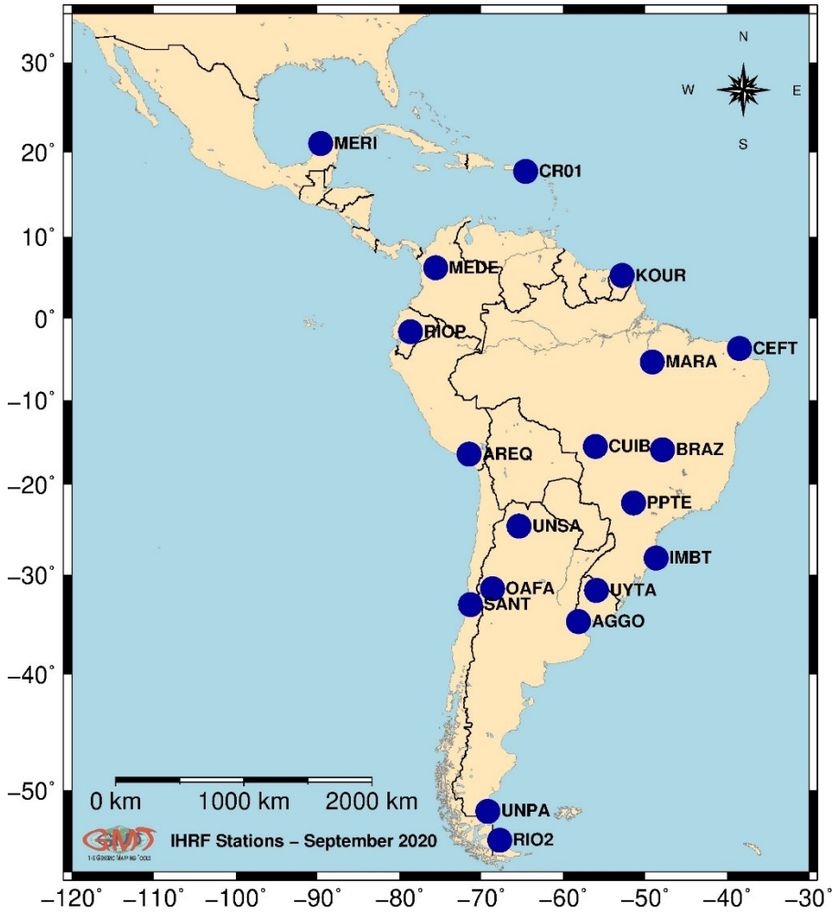
Estaciones IHRF

~ 170 estaciones



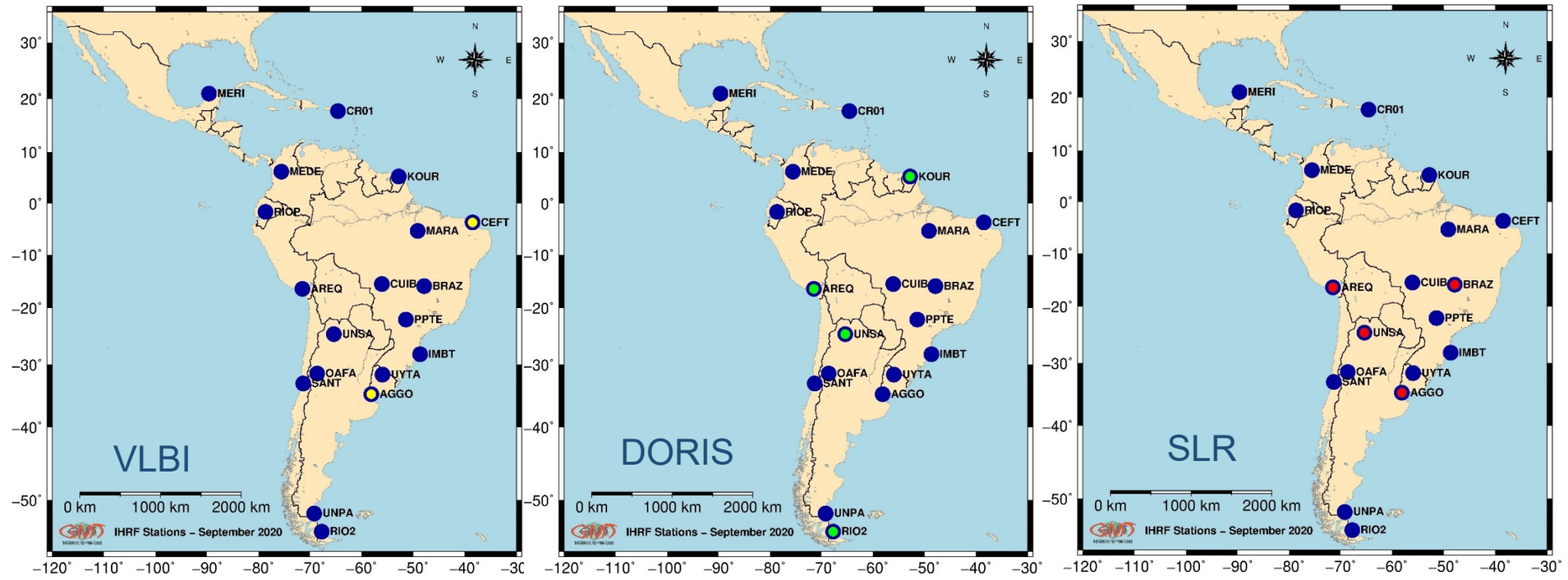
Sánchez, L., Ågren, J., Huang, J. *et al.* Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHRS). *J Geod* **95,** 33 (2021). https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0

19 estaciones en América Latina

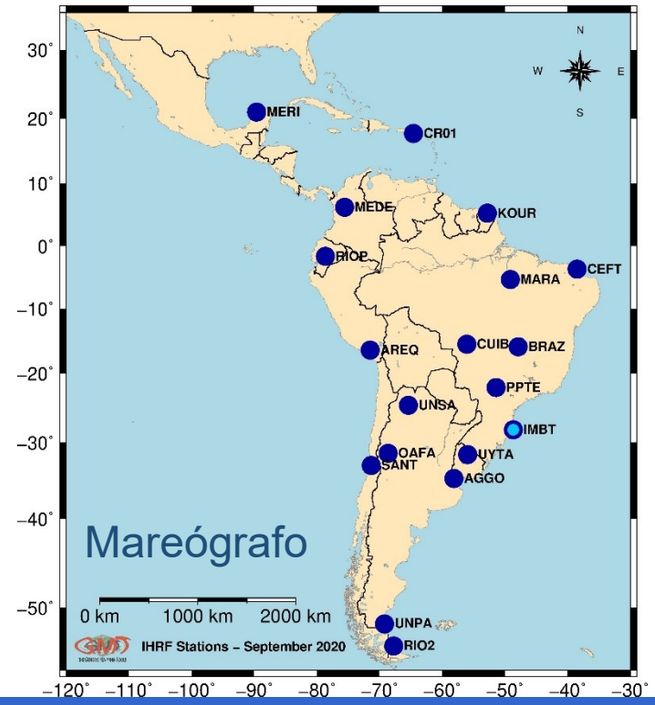


Infraestructura de las Estaciones IHRF

Estaciones co-localizadas con técnicas espaciales

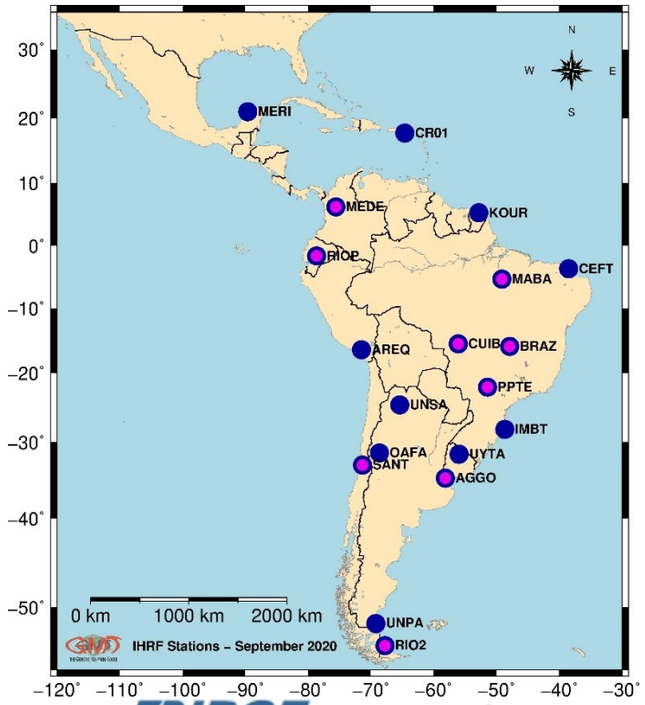


Datum vertical

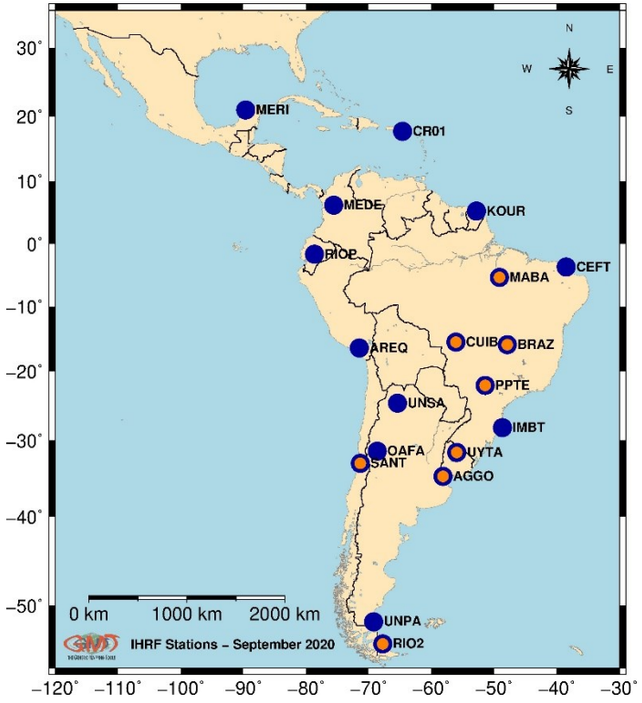


Infraestructura de las Estaciones IHRF

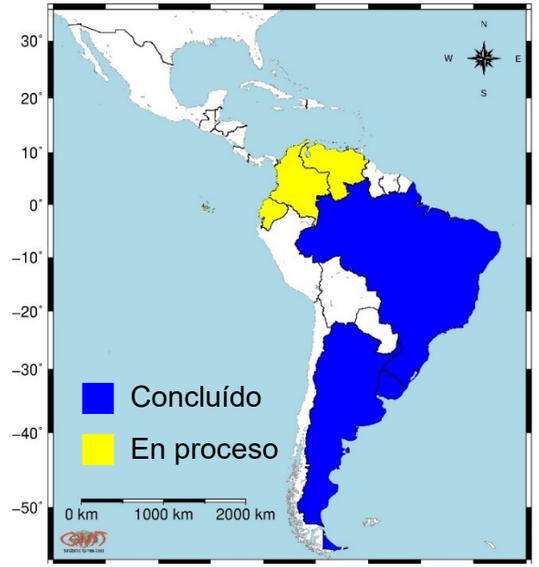
Gravedad Absoluta o Relativa



Enlace GNSS/nivelación



Redes de nivelación basadas en los números geopotenciales



IBGE **Relatório de Estação Geodésica**

Estação :	93914	*Nome da Estação :*	93914	*Tipo :*	Estação GPS
Município :	MARABÁ			*UF :*	PA
Última Visita:	23/11/2018	*Situação Marco Principal :*	BOM	Última Atualização :	04/12/2020
Conexões :	EG : 8083169 RN : 4045N			*Inscrição chapa :*	

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	05º 21' 44,56320" S	*Altitude Normal(m)*	103,7714	*Gravidade(mGal)*	978.018,35
Longitude	49º 07' 20,27159" W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico	*Datum*	RGFB
Altitude Geométrica(m)	79,817	*Sigma Altitude(m)*	(#)	*Data Medição*	23/11/2018
Fonte	GPS Geodésico	*Datum*	Imbituba	*Data Cálculo*	29/04/2019
Origem	Ajustada	*Data Medição*	23/11/2018		
Datum	SIRGAS2000	*Data Cálculo*	06/08/2020		
Data Medição	18/04/2007	*Número Geopotencial (m²/s²)*	1.014,948		
Data Cálculo	30/08/2007				
Sigma Latitude(m)	0,001				
Sigma Longitude(m)	0,001				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,006				
UTM(N)	9.406.959,977				
UTM(E)	708.069,761				
MC	-51				

IBGE **Relatório de Estação Geodésica**

Estação :	91200	*Nome da Estação :*	91200
Município :	BRASÍLIA		
Última Visita:	12/07/2005	*Situação Marco Principal :*	BOM
Conexões :	RN : 2369V		

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS	
Latitude	15º 56' 50,91123" S	*Altitude Normal(m)*	1.118,6967
Longitude	47º 52' 40,32834" W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico
Altitude Geométrica(m)	1.106,020	*Sigma Altitude(m)*	0,071
Fonte	GPS Geodésico	*Datum*	Imbituba
Origem	Ajustada	*Data Medição*	14/11/1994
Datum	SIRGAS2000	*Data Cálculo*	30/07/2018
Data Medição	15/05/2000	*Número Geopotencial (m²/s²)*	10.943,649
Data Cálculo	23/11/2004		
Sigma Latitude(m)	0,001		
Sigma Longitude(m)	0,001		
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,001		
UTM(N)	8.234.747,340		
UTM(E)	191.901,219		
MC	-45		

Cruces Internacionales

Guajará-Mirim (BR) – Guayaramerin (BO)
ΔH = 0,32 m

Aguas Blancas (AR) – Bermejo (BO)
ΔH = 0,45 m

Alvear (AR) – Itaquí (BR)
ΔH = -0,45 m
Paso de los Libres (AR) – Uruguaiana (BR)
ΔH = -0,40 m
Monte Caseros (AR) – Bella Unión (UR)
ΔH = 0,15 m

Cólon (AR) – Paysandú (UR)
ΔH = 0,14 m

S. do Livramento (BR) – Rivera (UR)
ΔH = 0,54 m

Paso Huemeles (AR – CH)
ΔH = -0,17 m

Situación de la estaciones IHRF

Estación MEDE - Colombia

Medición de gravedad absoluta

Gracias al IGAC (Leidy Johanna Moisés Sepúlveda)

Estación UYTA - Uruguay

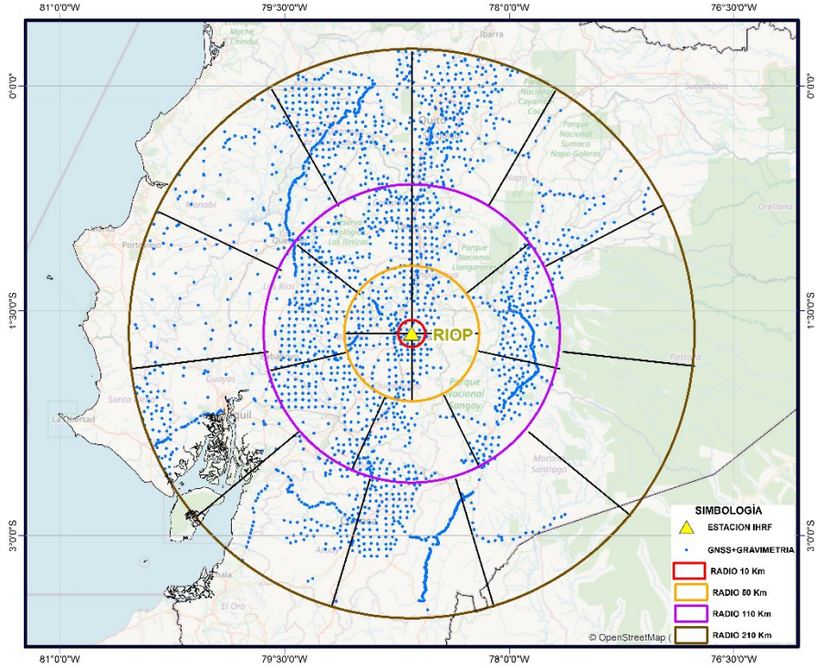
Gravedad relativa

Gracias al IGM - Uruguay

Situación de la estaciones IHRF

Estación RIOP - Ecuador

Gravedad relativa



Gracias al IGM-Ecuador (José Carrión)

- Para 2022 se tiene previsto realizar el ajuste de números geopotenciales para la red de control vertical fundamental de Ecuador.

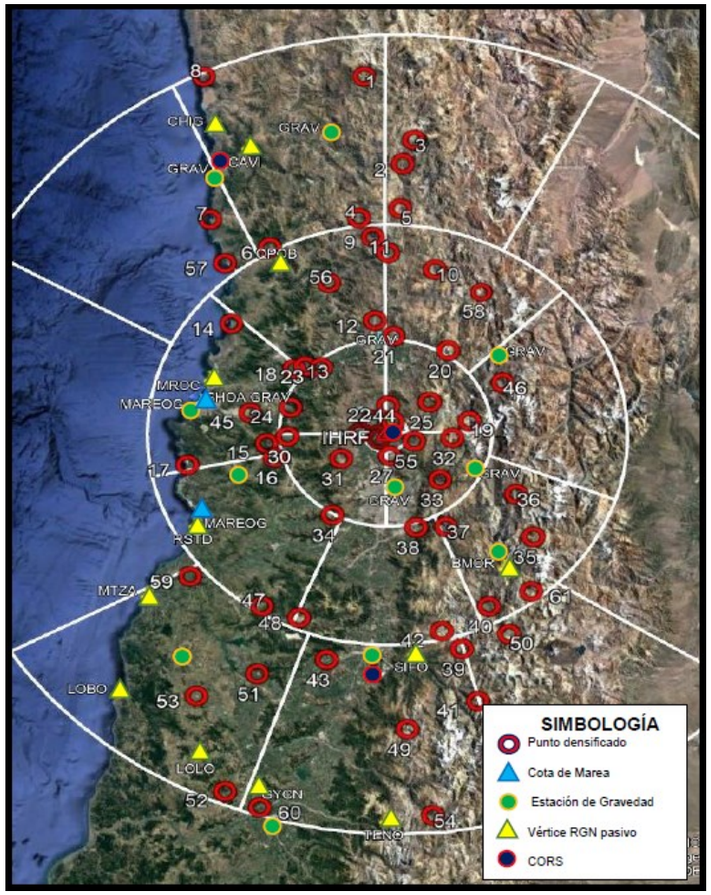
- En la estación RIOP se ha realizado la observación de gravedad relativa y no se cuenta con un valor de gravedad absoluta, no obstante una estación de gravedad absoluta (RIOBAMBA) se encuentra a aproximadamente 300 m.

Radio	No. de puntos observados
10 Km	15
10 Km – 50 Km	230
50 Km – 110 Km	869
110 Km – 210 Km	1268
TOTAL	**2382**

Situación de la estaciones IHRF

Estación SANT - Chile

Gravedad relativa



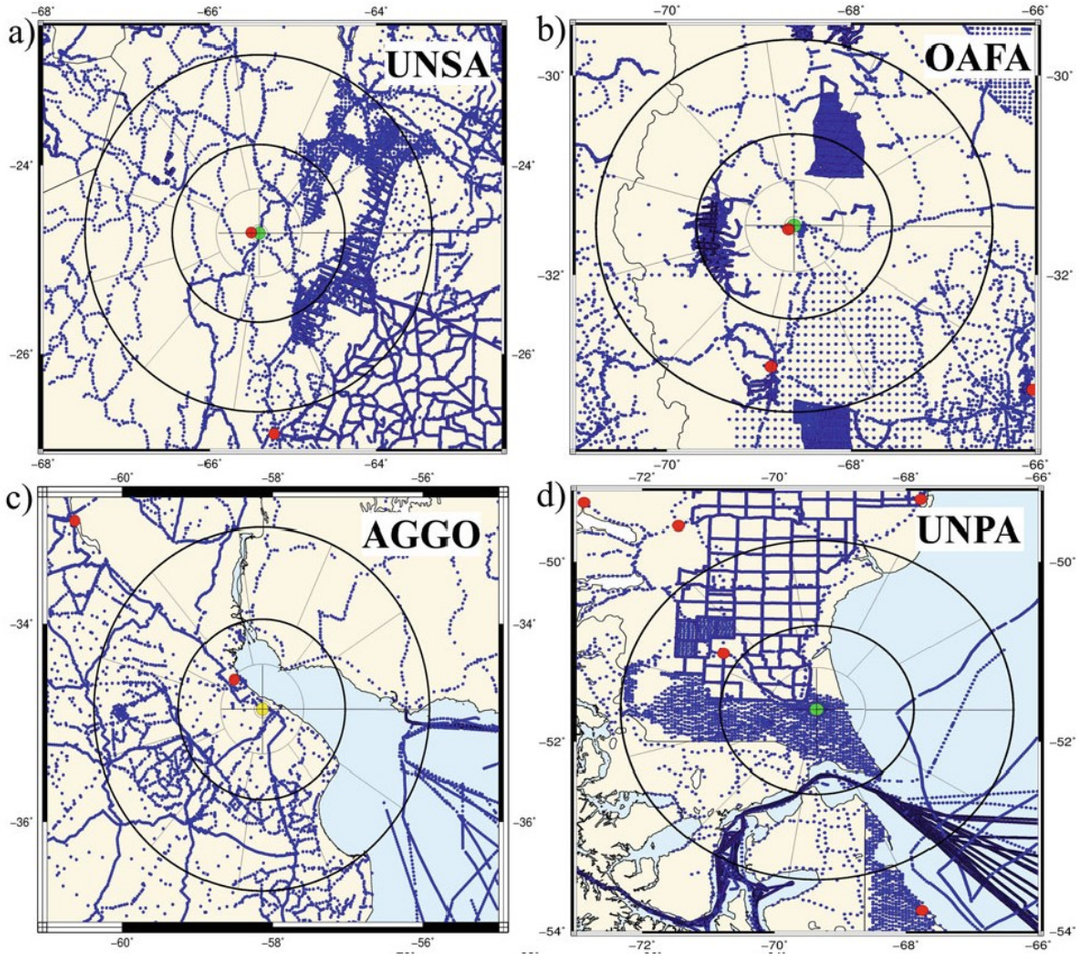
Gracias al IGM-Chile (Sergio Rozas)

- Se vinculó a línea de nivelación 9E la estación CORS-SANT.

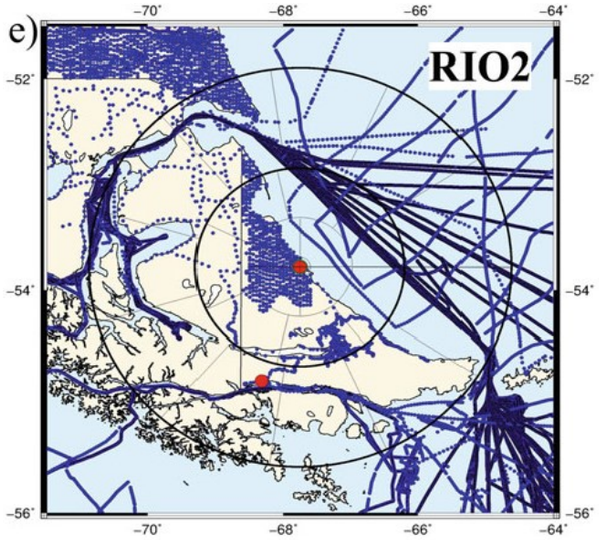
Planificación de las regiones donde se puede complementar con mediciones de gravedad

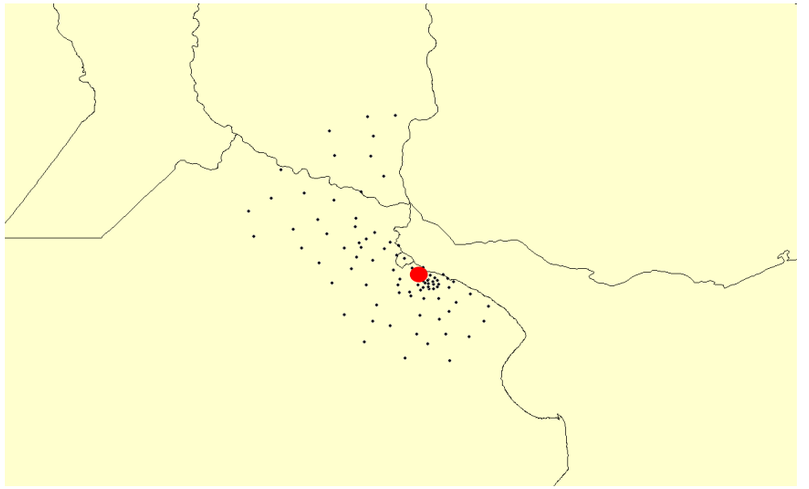
Situación de la estaciones IHRF

Estaciones en Argentina



- Se realizó una campaña de densificación gravimétrica de 87 puntos en las cercanías de AGGO para mejorar la cobertura.



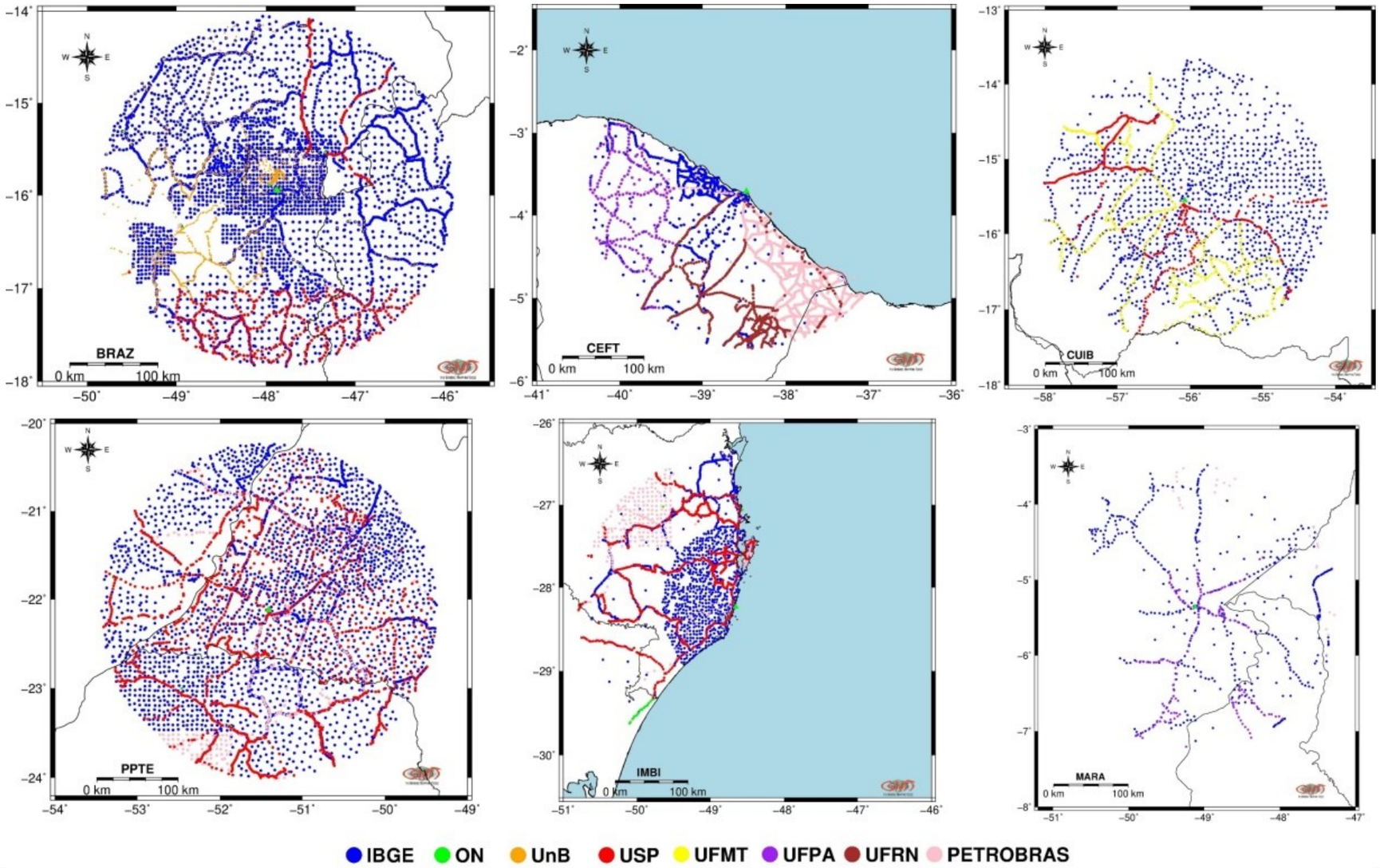


Gracias al IGN (Hernán Guagni)

Tocho C.N., Antokoletz E.D., Piñón D.A. (2020) Towards the Realization of the International Height Reference Frame (IHRF) in Argentina. In: . International Association of Geodesy Symposia. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/1345_2020_93

Situación de la estaciones IHRF

Estaciones en Brasil



Gravedad disponible

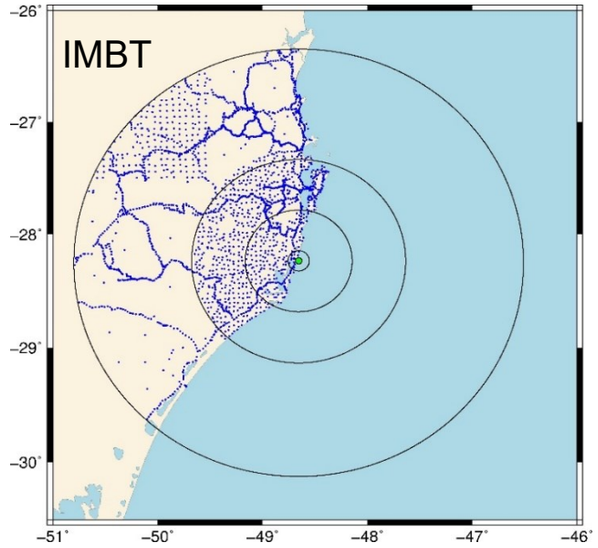
Estación IHRF	Estaciones en BDG y BNDG
CEFT	4.003
MABA	702
BRAZ	5.799
PPTE	7.742
CUIB	2.209
IMBT	3.159

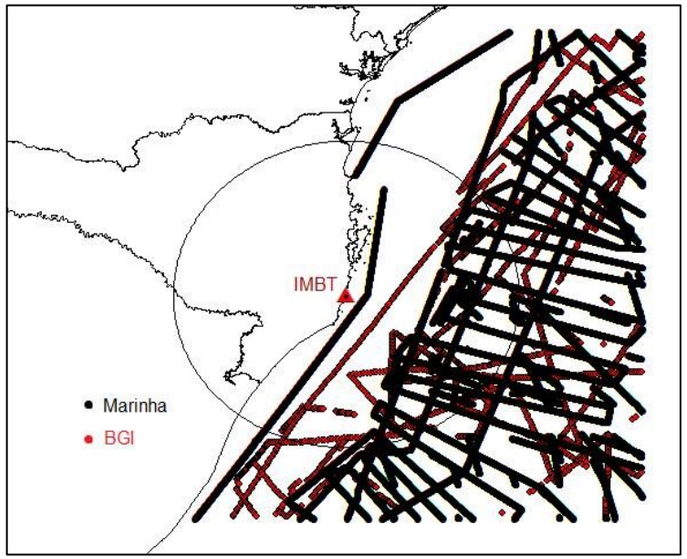
Fuente de los datos: IBGE y BNDG

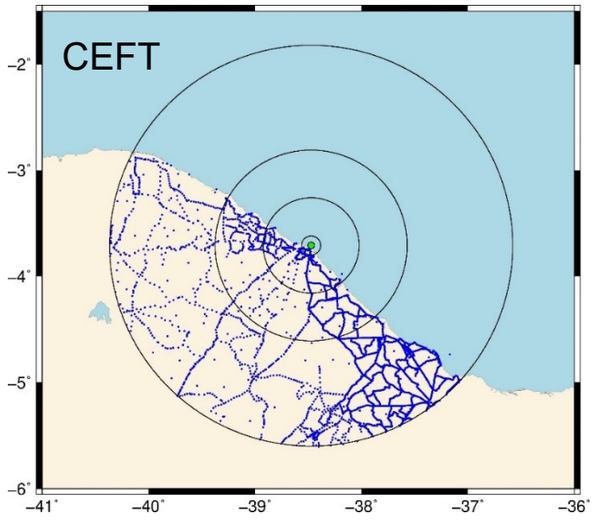
Estación IHRF	Cantidad necessária para 3 km	Cantidad necessária para 9 km
CEFT	3.054	0
MABA	15.912	1.045
BRAZ	10.815	0
PPTE	8.872	0
CUIB	14.405	0
IMBT	3.831	0

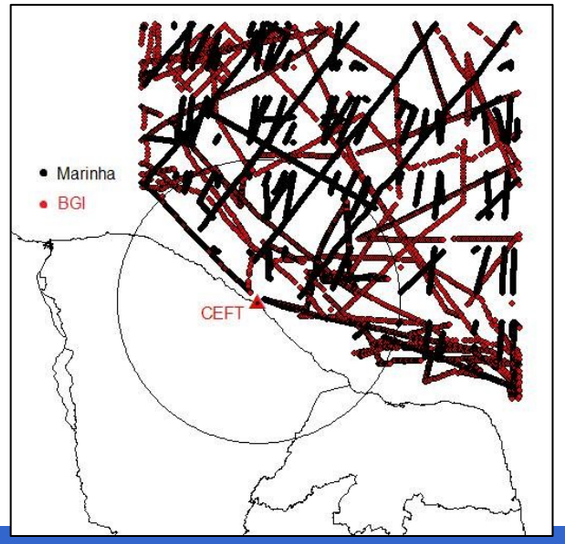
Situación de la estaciones IHRF

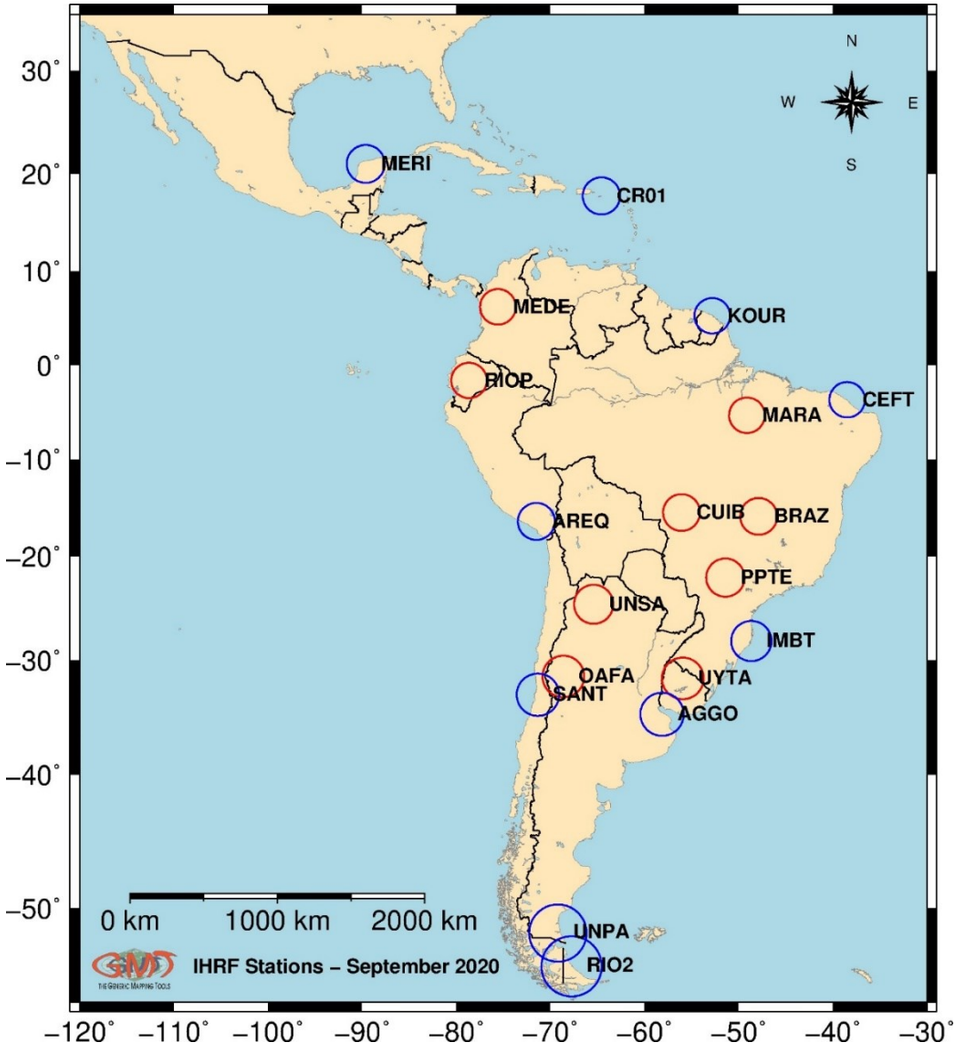
Estaciones en Brasil – Análisis de la calidad de la gravimetría marina











Guía para la selección de estaciones IHRF

Estrategia para la selección de estaciones IHRF

- Ser materializado por una estación GNSS.
- Es deseable que la estación IHRF esté co-localizada con otras técnicas geodésicas.
- Se recomienda que la estación esté vinculada al Datum vertical local, para facilitar la unificación con el IHRF.
- Se aconseja que, si la estación seleccionada está ubicada en la región costera del país y cercana al mareógrafo vinculado al Datum vertical local.
- Es esencial que la estación seleccionada cuente con mediciones gravimétricas terrestres a su alrededor.
- Se fomentan los enlaces altimétricos internacionales.
- Es fundamental que la red altimétrica nacional se ajuste en función de los desniveles geopotenciales.
- Se recomienda abrir los repositorios de datos geodésicos de los Estados Miembros de SIRGAS.

Las recomendaciones y directrices se basan en trabajos publicados por el área de enfoque "Unified Height System" del Global Geodetic Observing System (GGOS) y el Grupo de Trabajo 0.1.2: "Strategy for the realisation of the IHRS" (Ihde et al., 2017; Sánchez 2019; Sánchez; Barzaghi 2020, Sánchez et al., 2021).

Guía para la realización de mediciones gravimétricas alrededor de estaciones IHRF

Aspectos Generales

- Llenar de los vacíos gravimétricos alrededor de la estación IHRF.
- Distribución de los puntos gravimétricos debe ser homogénea, con mediciones en un radio de 210 km (~ 2°).
- La resolución espacial recomendada por el Grupo de Trabajo IAG 0.1.2, para mediciones gravimétricas es de 2 a 4 km.
- En el caso de la existencia de datos gravimétricos, se debe verificar la calidad de la información.
- En el caso de nuevas mediciones gravimétricas, estas deben estar conectadas a redes de referencia gravimétricas modernas y confiables.
- Tener en cuenta la precisión recomendada para el valor de aceleración de la gravedad.

Recomendaciones para las mediciones gravimétricas

Documentos disponibles en:
https://sirgas.ipgh.org/recursos/guias/

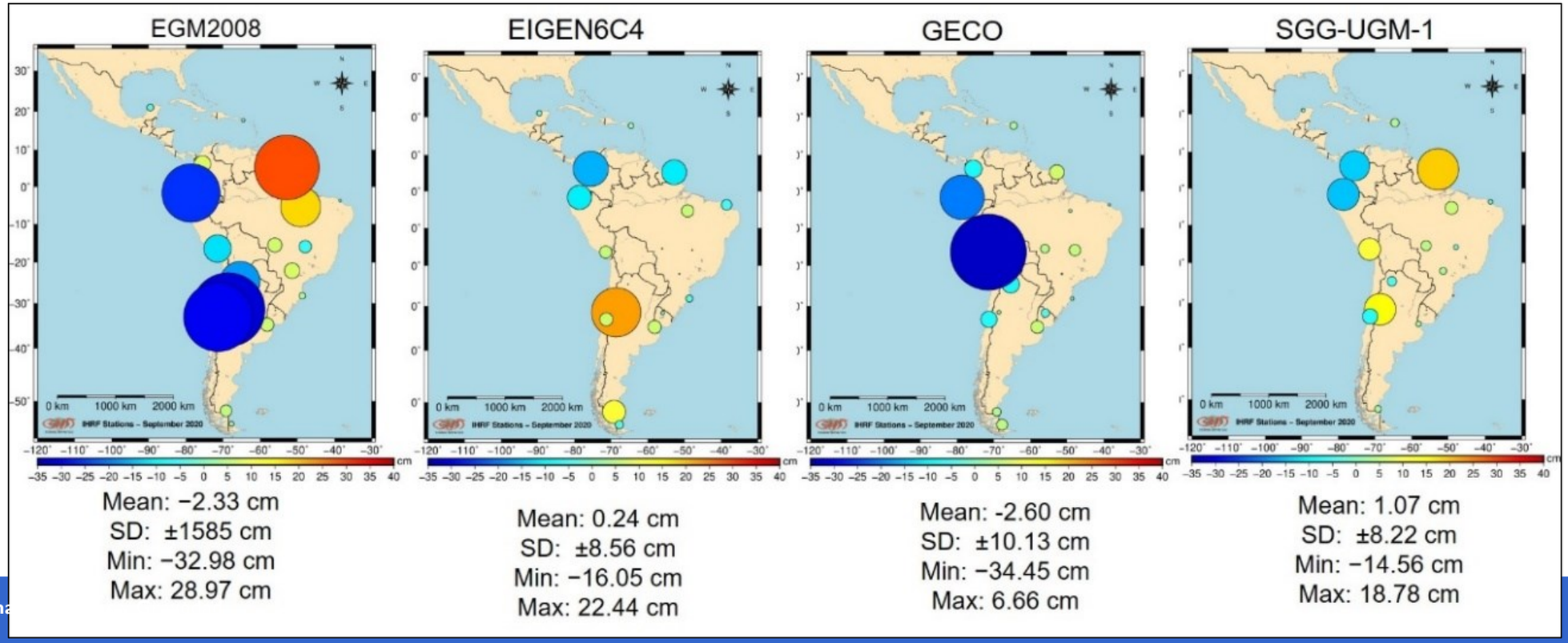
Implementación del IHRF en SIRGAS

Comparación de GGMs (hasta alto grado) con el GGM XGM2019

$$W_P(r,\lambda,\varphi) = \frac{GM}{R}\sum_{l=0}^{l_{max}}\sum_{m=0}^{l}\left(\frac{R}{r}\right)^{l+1} P_{lm}(sen\varphi)\left(\bar{C}_{lm}^{W}\cos m\lambda + \bar{S}_{lm}^{W} sen\, m\lambda\right)$$

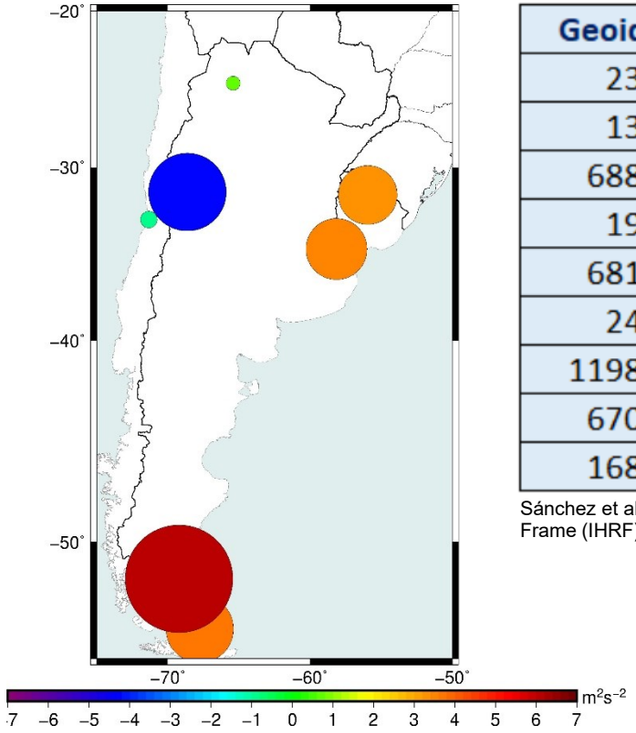
- Cálculo de los valores de potencial $W_{(P)}$ en las 19 estaciones
- Cálculo de los números geopotenciales $C_{(P)}=W_0 - W_{(P)}$
- Determinación de las alturas normales $H^N_{(P)}=C_{(P)}/\gamma$

EGM2008 (2190)
EIGEN6C4 (2190)
GECO (2190)
SGG-UGM-1 (2159)
http://icgem.gfz-potsdam.de/calcpoints



Hacia la primeira solución IHRF

- Determinación de una solución IHRF inicial basado en el modelado regional del campo de gravedad (modelos de geoide/casi-geoide).



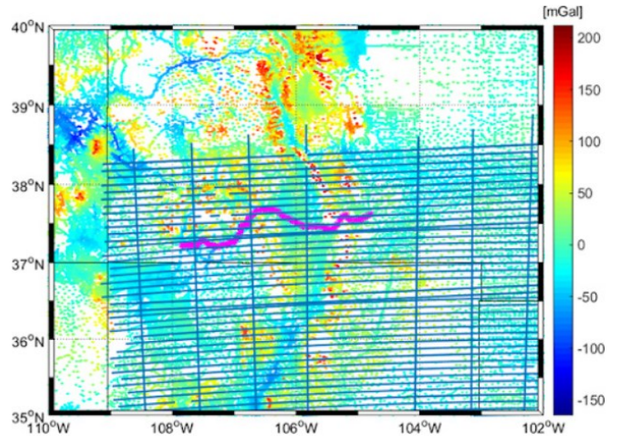
Geoid A	Geoid B	Difference
232.39	235.83	3.44
137.93	140.98	3.05
6884.95	6880.58	-4.37
192.03	195.81	3.79
6811.51	6810.58	-0.94
245.38	251.43	6.05
11980.35	11981.14	0.79
6707.59	6703.69	-3.90
1683.67	1686.87	3.21

Sánchez et al. (2021) Status of the International Height Reference Frame (IHRF) Symposium SIRGAS2021, November 30, 2021

Differences (@ 9 points)
Mean: 1.24 m^2s^{-2}
STD: 3.41 m^2s^{-2}
Min.: -4.37 m^2s^{-2}
Max.: 6.36 m^2s^{-2}

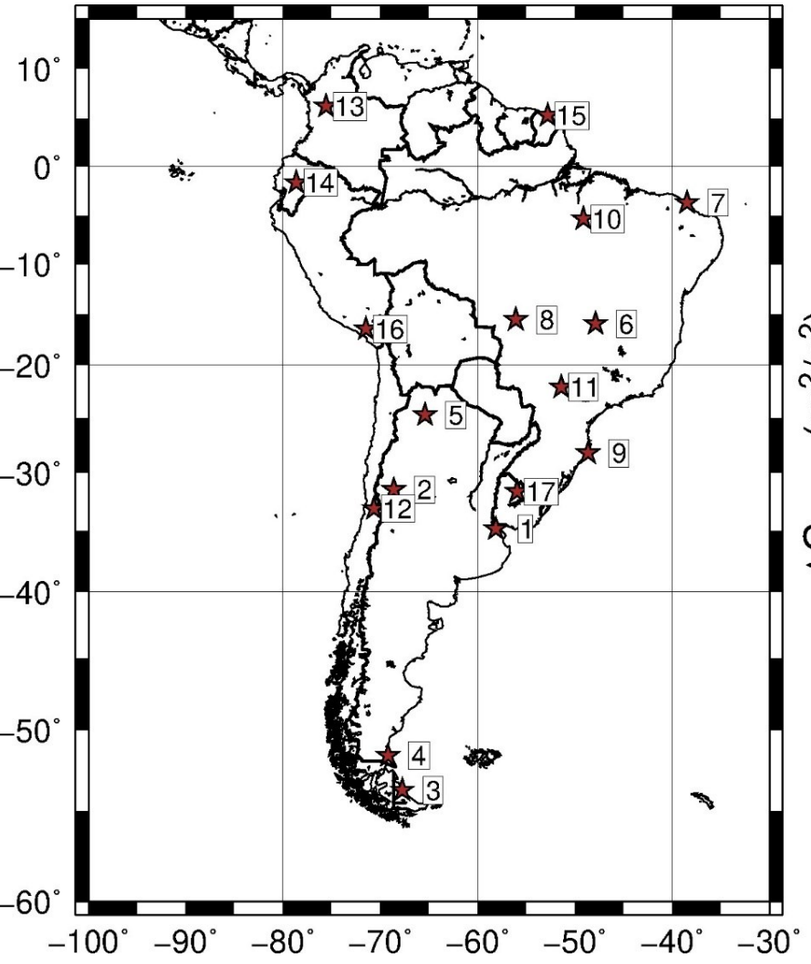
- Para 2022 se tiene previsto utilizar metodologías y paquetes computacionales (SHGeo y GRAVSOFT) para calcular los valores de potencial a partir de los datos del “Experimento Colorado”.

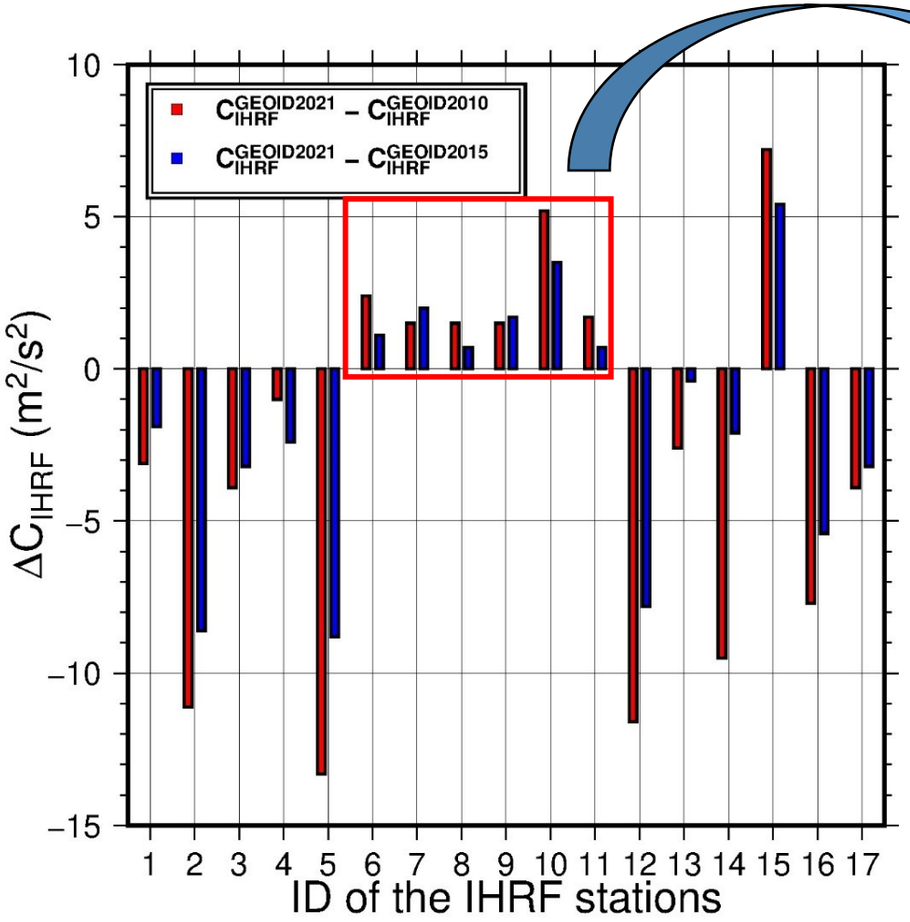
Input Datasets:
- **Terrestrial Gravity** (3 MB)
- **GRAV-D Airborne Gravity Data** (21 MB)
- **Global Gravity Model (GGM): REFB model** (132 MB)
- **Historical GPS/Leveling Data** (37 KB)
- DEM Data - based on SRTM v4.1:
  - Available for **download**
  - Reference: Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the **CGIAR-CSI SRTM 90m Database**
  - Geographic Limits: 35°N - 40°N, 250°E - 258°E
  - Grid Spacing: 3" (0.00083333°)



Hacia la primeira solución IHRF

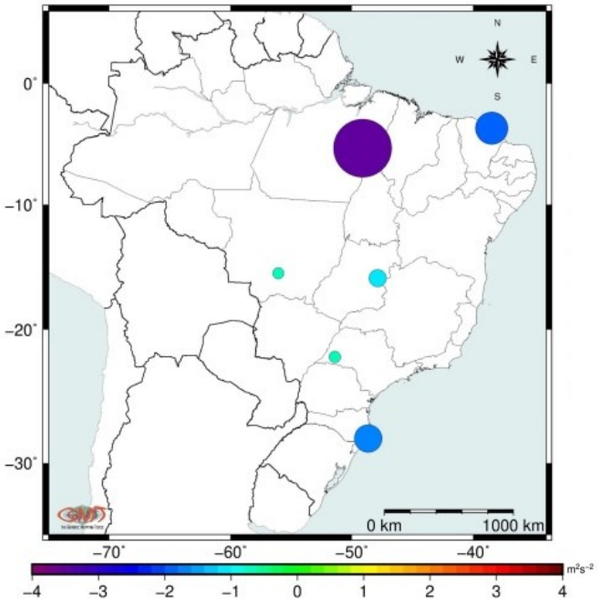
- Determinación de una solución IHRF inicial basado en el modelado regional del campo de gravedad (modelos de geoide/casi-geoide).





Matos et al. (2022). Bajo revision

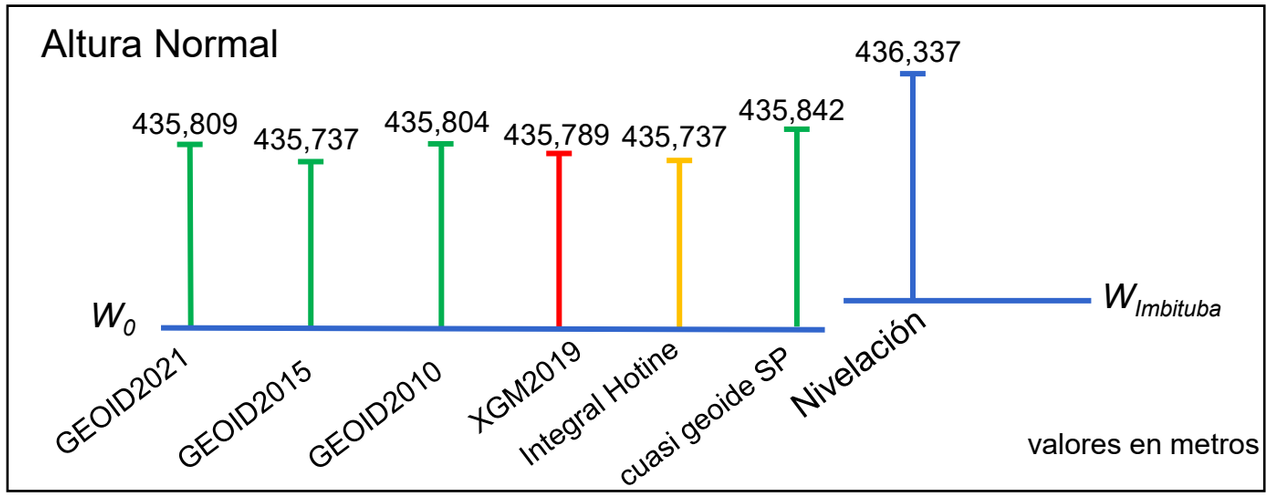
Diferencia entre los modelos de geoide 2021 y 2015

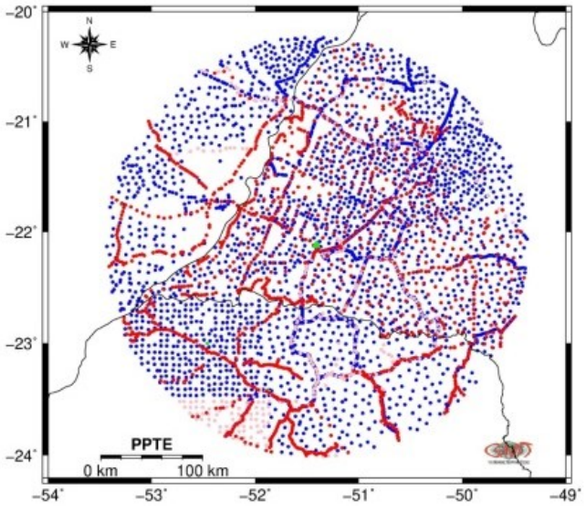


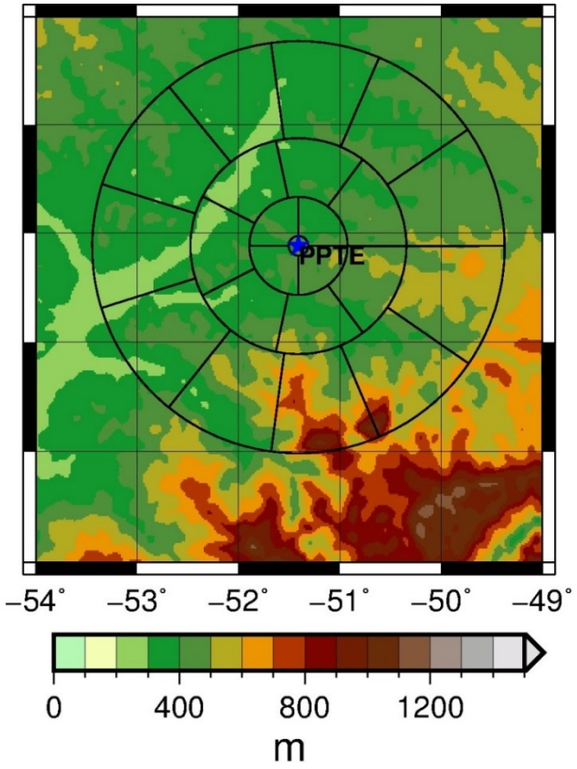
Estação	Discrepância (m²s⁻²)	Discrepância (m)
CEFT	-1,96	-0,20
MABA	-3,51	-0,36
BRAZ	-1,05	-0,11
CUIB	-0,68	-0,07
PPTE	-0,70	-0,07
IMBT	-1,68	-0,17

Hacia la primeira solución IHRF

- Comparación de la altura normal en la estación PPTE en Brasil

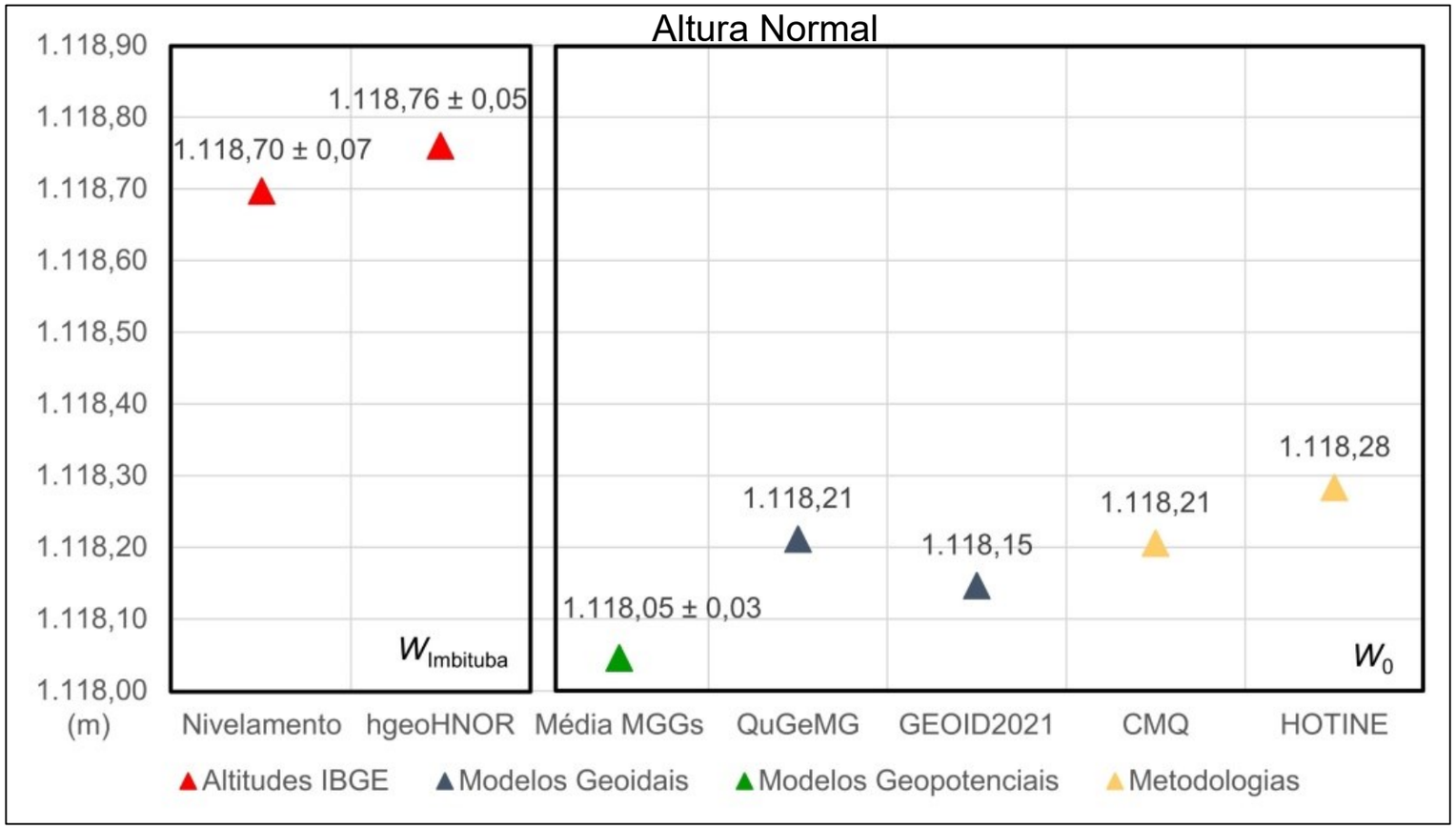


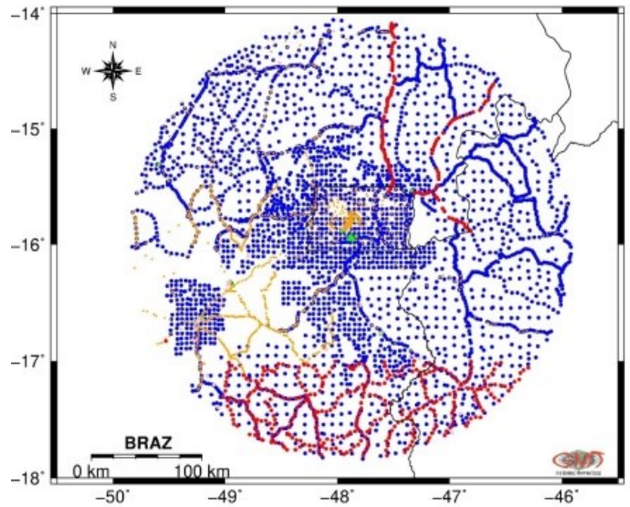


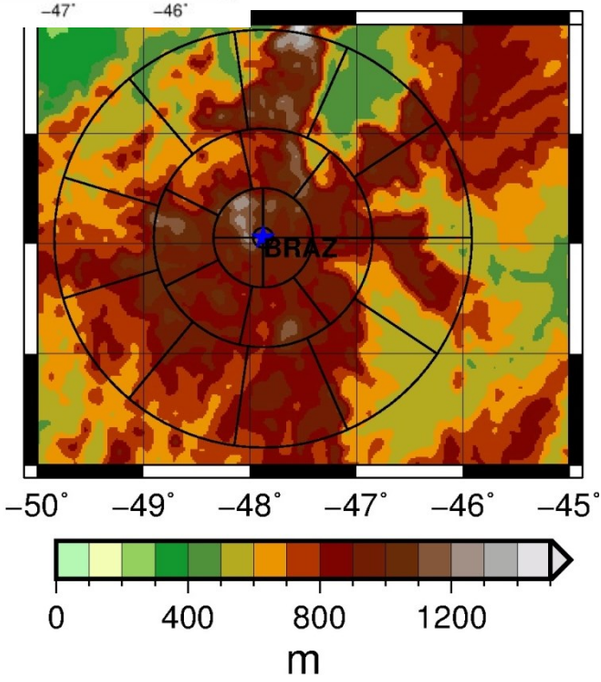


Hacia la primeira solución IHRF

- Comparación de la altura normal en la estación BRAZ en Brasil.







Próximas actividades direccionadas al IHRF en SIRGAS

- Elaboración de una guía técnica para procedimientos de gravimetría (Simposio SIRGAS2022).
- Evaluación de los modelos GGMs + Modelos Topográficos en las estaciones IHRF (Simposio SIRGAS2022).
- Desarrollo de un taller presencial “Sistemas de Referencias Verticales (Simposio SIRGAS2022).
- Evaluar y comparar las metodologías y paquetes computacionales a partir de los datos del “Experimento Colorado”.
- Desarrollo de asesorías técnica a aquellos Estados Miembros interesados en establecer sitios IHRF.

Hay mucho trabajo por delante…

- Densificación gravimétrica para el IHRF (y también para el geoide/casi-geoide);
- Medición de la gravedad (estaciones IHRF);
- Enlace GNSS y nivelación (estaciones IHRF);
- Cruces internacionales (nivelación);
- Ajuste de las redes de nivelación basados em números geopotenciales…

¡Muchas Gracias!

Gabriel do N. Guimarães
gabriel@ufu.br

www.sirgas.ipgh.org

SIRGAS
sirgas.ipgh.org