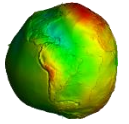


Evaluación de Modelos Globales del Geopotencial combinados modernos en el territorio brasileño

Eurico Nicacio & Regiane Dalazoana

Mendoza, Argentina – 28 de Noviembre de 2017

Introducción



▶ Contexto

- ▶ Uno de los principales desafíos de la Geodesia es el modelado del campo de la gravedad terrestre - se realizan esfuerzos para ello desde mediados del siglo XVII;
- ▶ En los últimos años, con la popularización de técnicas espaciales, hubo un relevante marco en su interpretación y un impulso en la demanda por modelos globales adecuados y fidedignos para las más variadas finalidades;
- ▶ Se han desarrollado nuevas técnicas para obtener información del campo de la gravedad a partir de misiones satelitales.
 - ▶ Modelos Globales del Geopotencial [MGGs]

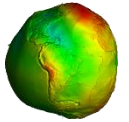
Introducción

- ▶ Modelos Globales del Geopotencial [MGGs]
 - ▶ Gestión y provisión: ICGEM (163+ modelos);

Nr	Model	Year	Degree	Data	References	Download	Calculate	Show	DOI
163	GO_CONS_GCF_2_SPW_R5	2017	330	S(GOCE)	A. Gatti et al. 2016	gfc zip	Calculate	Show	✓
162	GAO2012	2012	360	A, G, S(GOCE), S(GRACE)	Demianov, G. et al, 2012	gfc zip	Calculate	Show	✓
161	XGM2016	2017	719	A, G, S(GOCO05s)	Pail, R. et al, 2017	gfc zip	Calculate	Show	✓
160	Tongji-Grace02s	2017	180	S(Grace)	Chen, Q. et al, 2016	gfc zip	Calculate	Show	✓
159	NULP-02s	2017	250	S(Goce)	A.N. Marchenko et al, 2016	gfc zip	Calculate	Show	✓
158	HUST-Grace2016s	2016	160	S(Grace)	Zhou, H. et al, 2016	gfc zip	Calculate	Show	✓

- ▶ Atención especial para MGG combinados [A, G, S];
- ▶ En especial: **GOCO05c** y **XGM2016**
 - ▶ Singular método de procesamiento + Grandes perspectivas de aplicación en América del Sur

Introducción

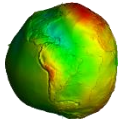


- ▶ MGG GOCO05c



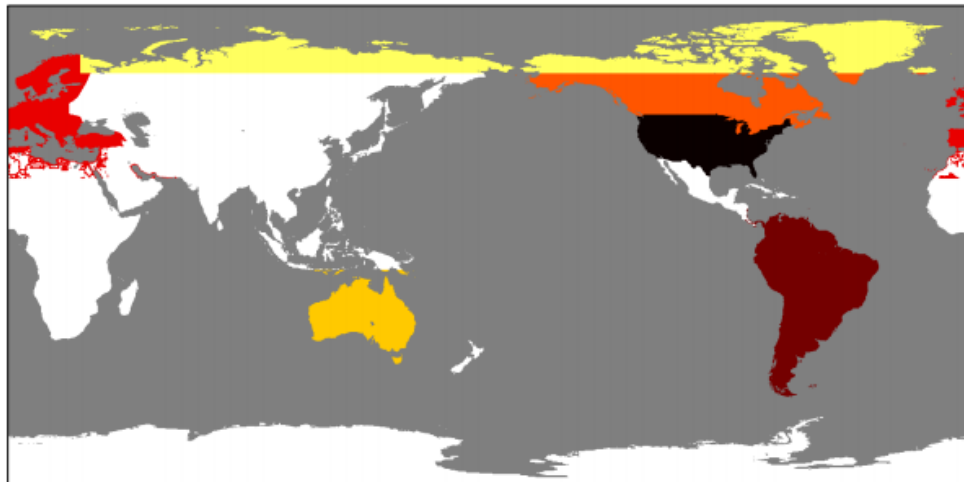
- ▶ Desrollable hasta g/o 720;
- ▶ Desde el lanzamiento del EGM2008, se muestra como innovador:
 - ▶ Totalmente independiente del EGM2008, con datos de todo el período de la misión GOCE;
 - ▶ Primer modelo que hace uso de ponderación por ubicación durante la utilización de soluciones de misiones gravimétricas, aerotransportadas y terrestres;
 - ▶ Grandes perspectivas para América del Sur.

Introducción

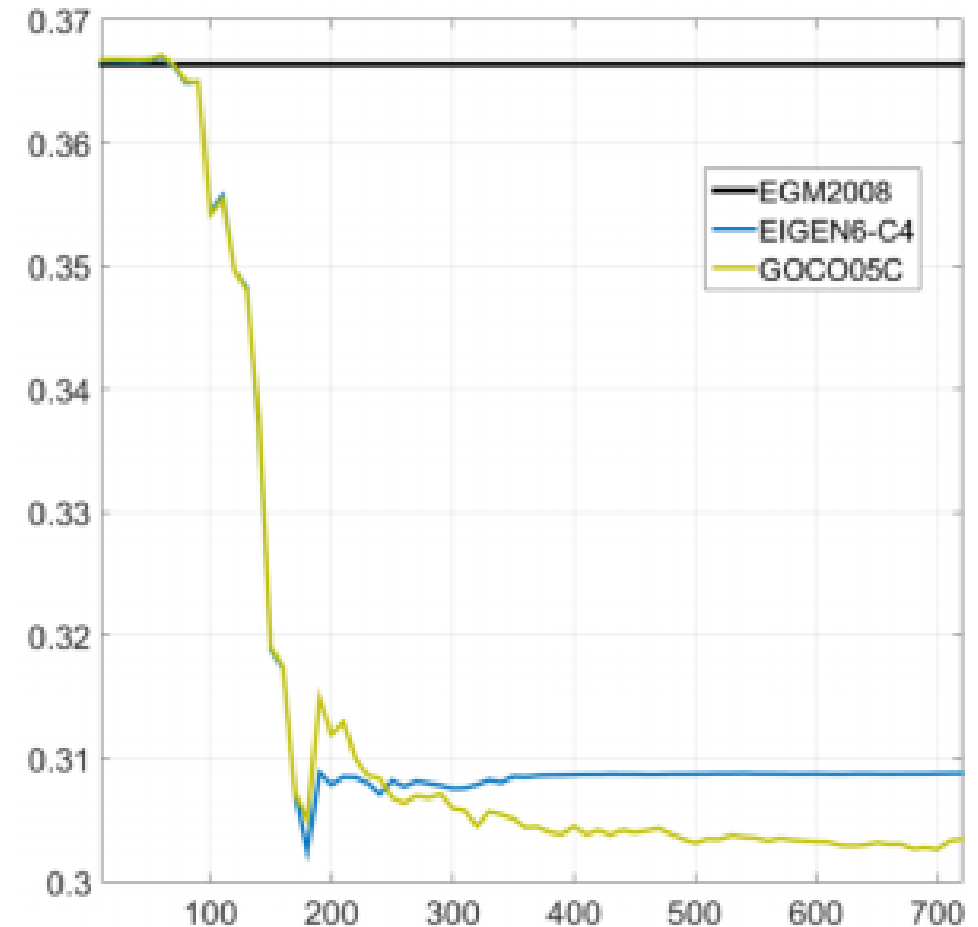


► MGG GOCO05c

Region	Source	Number of grid cells
Arctic	ArcGP Group	44522 (4.3 %)
Australia	Curtin University	11170 (1.1 %)
Canada	NRCan	19259 (1.9 %)
Europe	IfE Hanover	15625 (1.5 %)
Oceans	DTU Space	691818 (66.7 %)
South America	NGA	24818 (2.4 %)
USA	NGA	12895 (1.2 %)

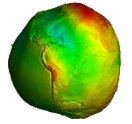


Disponibilidad de datos de anomalía de la gravedad



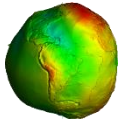
RMS [m] confrontando con GNSS/nivelación

Introducción

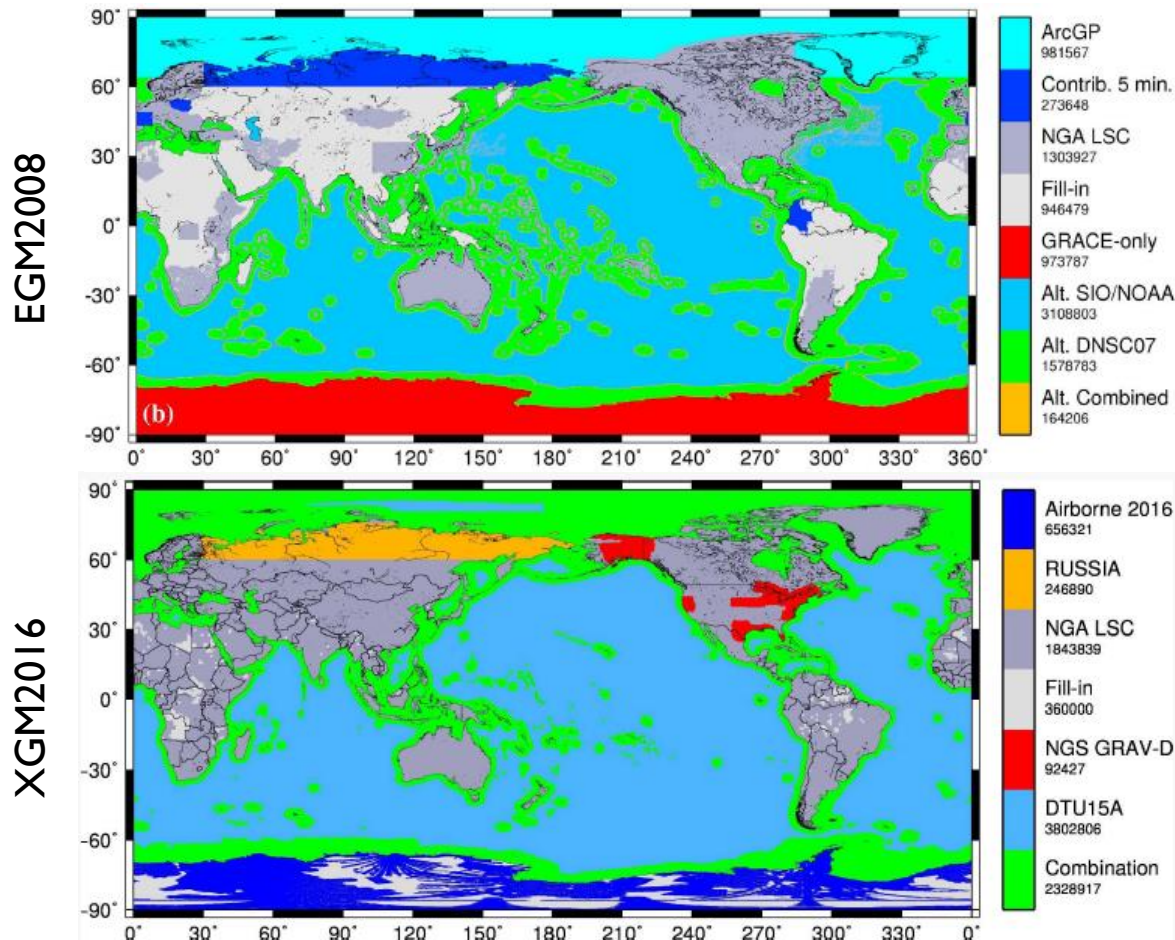


- ▶ MGG XGM2016
 - ▶ Desarrollable hasta g/o 719;
 - ▶ Precursor del venidero MGG EGM2020;
- ▶ Se muestra aún más innovador:
 - ▶ También totalmente independiente del EGM2008, con datos de todo el período de la misión GOCE;
 - ▶ También hace uso de ponderación por ubicación durante la utilización de soluciones de misiones gravimétricas, aerotransportadas y terrestres;
 - ▶ Nueva grilla 15' x 15' de datos de anomalía de la gravedad en tierra;
 - ▶ Grandes perspectivas para regiones anteriormente tratadas con *fill-in* y relativas al EGM2020.

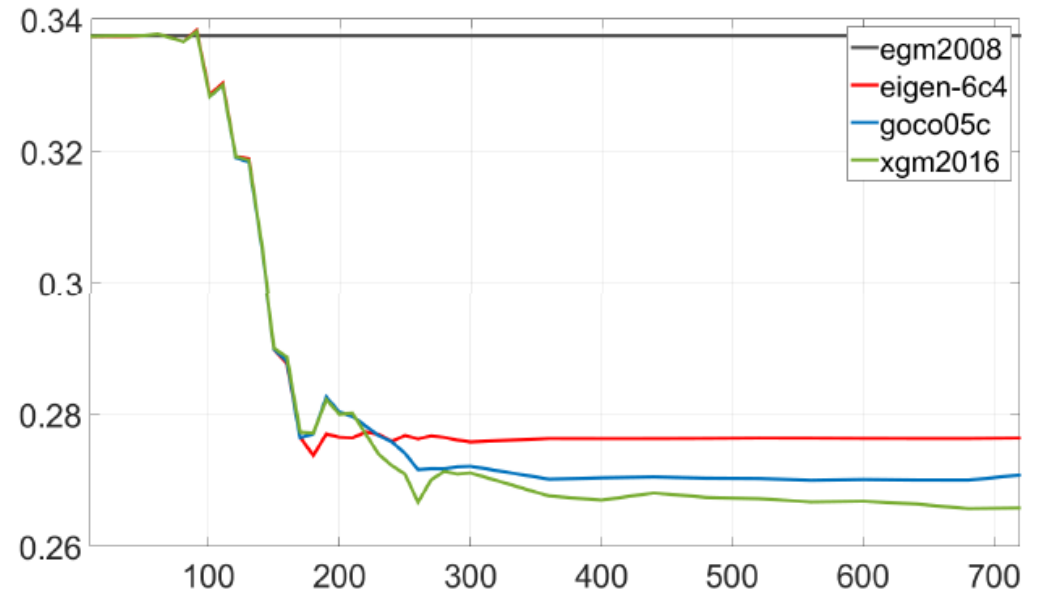
Introducción



► MGG XGM2016

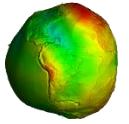


Comparativo de disponibilidad de datos de anomalía de la gravedad



RMS [m] confrontando con GNSS/nivelación

Introducción

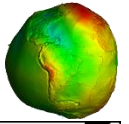


▶ Objetivo

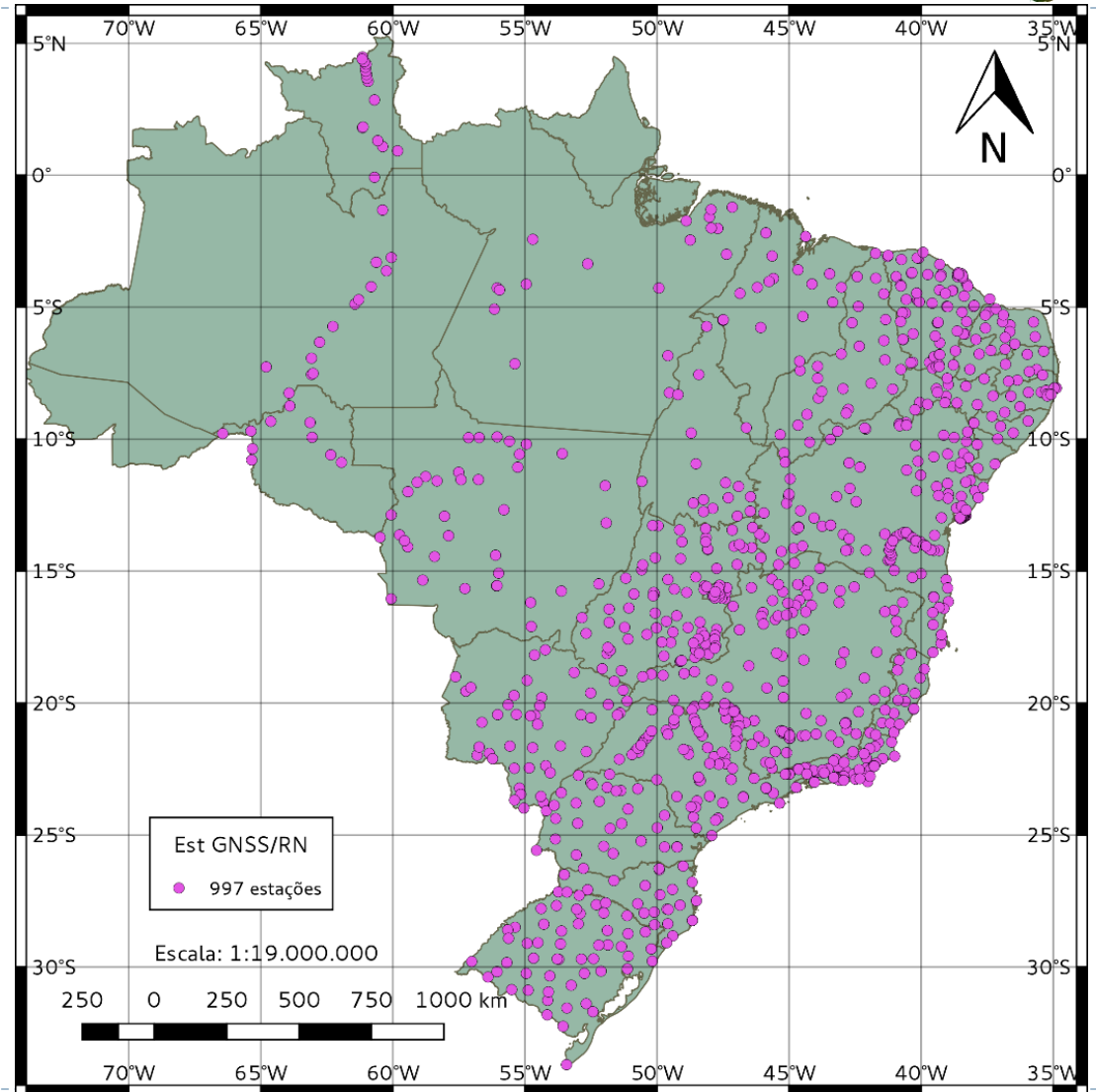
Evaluar cuantitativamente los MGGs combinados existentes en la actualidad para modelado de la altura normal-geoidal a lo largo de todo el territorio brasileño, comparando sus soluciones con soluciones GNSS/nivelación en toda el área de estudio.

$[EGM2008, EIGEN6C4] \leftrightarrow [GOCO05C, XGM2016]$

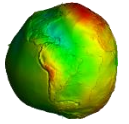
Área de estudio



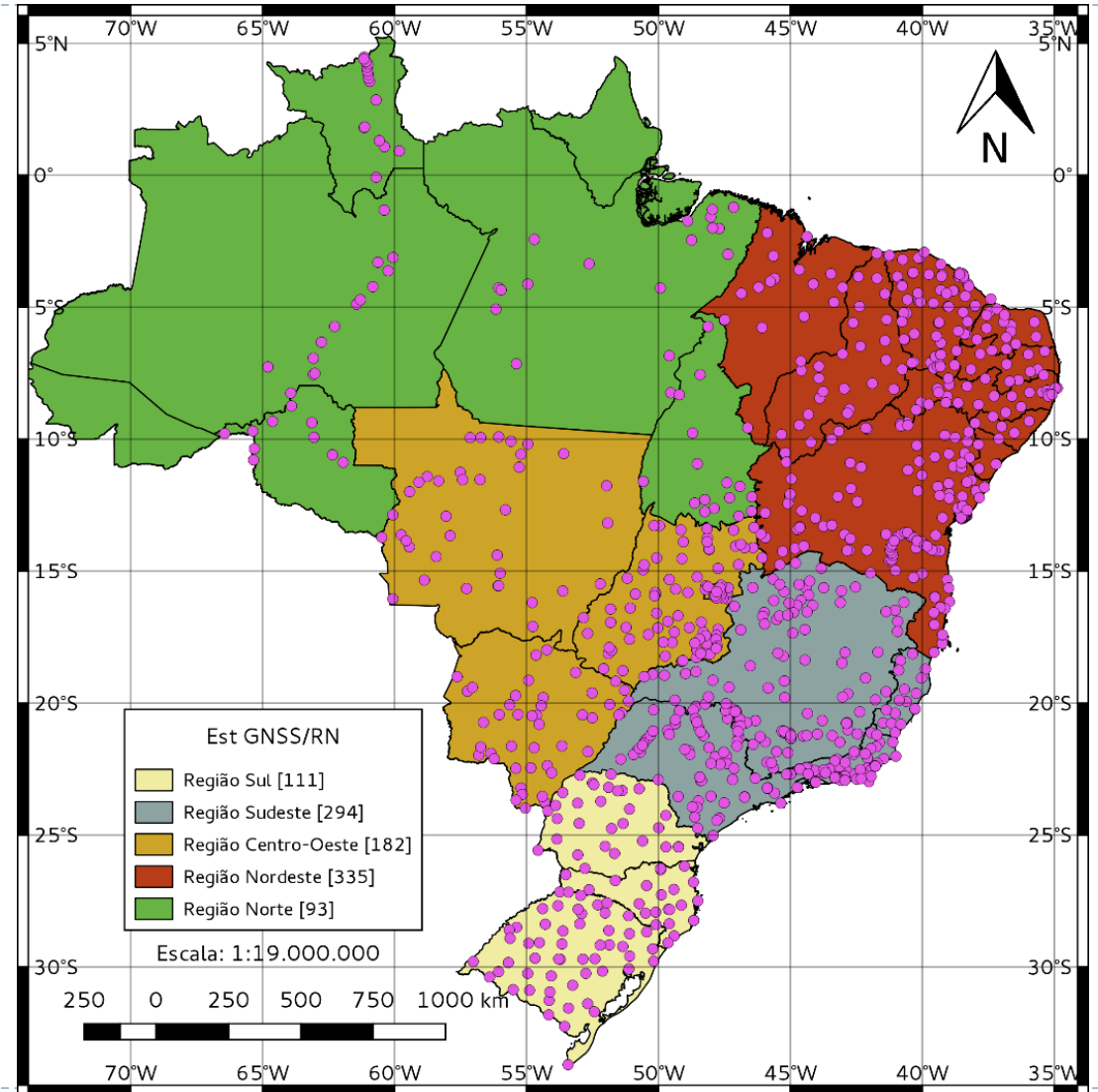
- ▶ Territorio brasileño;
- ▶ 1015 estaciones de la red SAT-GPS/IBGE con conexión con la RAFB – estaciones GNSS/RN
 - ▶ 997 vinculadas al DVB-I *
 - ▶ 18 vinculadas al DVB-S
- ▶ Obtención en *shp* [INDE] – manipulación y metadatos;
- ▶ Portadoras de información de altura elipsoidal [h] y altura normal-ortométrica [H^{NOrt}];
- ▶ Distribución no uniforme aceptable para la evaluación primaria que se propone.



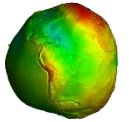
Área de estudio



- ▶ Territorio brasileño;
- ▶ División de las 997 estaciones según regiones geográficas:
 - ▶ 111 estaciones en la región Sur;
 - ▶ 294 estaciones en la región Sudeste;
 - ▶ 182 estaciones en la región Centro-Oeste;
 - ▶ 335 estaciones en la región Nordeste;
 - ▶ 93 estaciones en la región Norte.



MGGs empleados



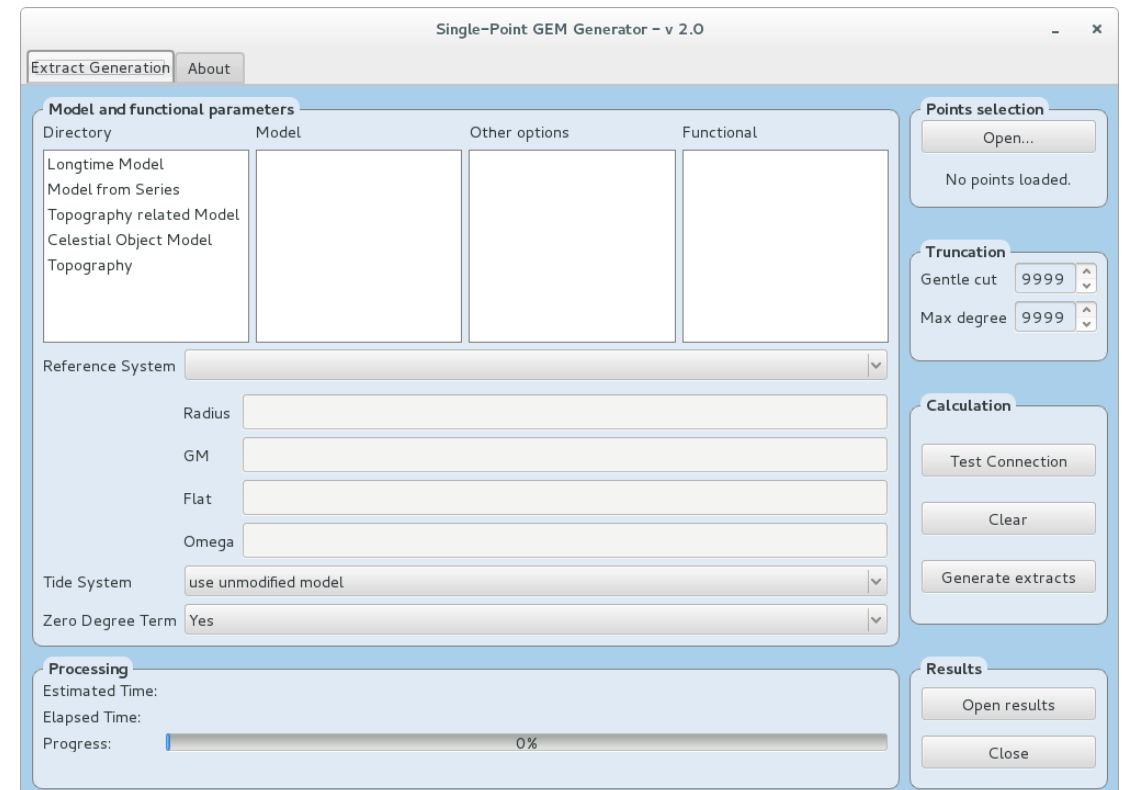
▶ Selección

- ▶ Principales MGGs combinados de la actualidad (desde EGM2008);
- ▶ Diferentes grados de desarrollo;
- ▶ Diferentes funcionales del geopotencial.

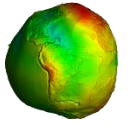
MGG	Grados de desarrollo		
EGM2008	2190	720	360
EIGEN-6C4	2190	720	360
GOCO05C	-	720	360
XGM2016	-	719	360

▶ Obtención

- ▶ SPGG v2.0 [extractos puntuales]

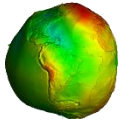


Modelado de la altura normal-geoidal



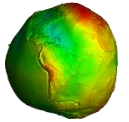
- ▶ RAFB: alturas normales-ortométricas [H^{NOrt}]
- ▶ Altura normal-geoidal [η]:
 - ▶ Método absoluto (tradicional): $h \cong H^{NOrt} + \eta$
- ▶ La altura normal-geoidal η puede ser mejor modelada por la propia altura geoidal N o por la anomalía de altura ζ , dependiendo del área que se estudia.
- ▶ Ferreira et al. (2011): según diferentes aproximaciones para la separación entre el geoide y el cuasigeoide, la altura normal-geoidal es ligeramente mejor modelada por la anomalía de altura que por la altura geoidal, en un estudio de caso aplicado a estaciones de la región Sur de Brasil.

Modelado de la altura normal-geoidal



- ▶ Featherstone (2001), Sánchez (2016) y Nicacio y Dalazoana (2017b):
 - ▶ Eliminación de errores aditivos inherentes al sistema de procesamiento y al modo de obtención de los MGG;
 - ▶ Método relativo: $\Delta h = \Delta H^{NOrt} + \Delta \eta \Rightarrow \eta_P = \eta_0 + h_P - h_0 - H_P^{NOrt} + H_0^{NOrt}$
 - ▶ Indicativos de ser la forma más adecuada para manipulación de MGGs y para el modelado deseado.
- ▶ Compatibilización del Sistema de Marea Permanente [Ekman (1989), Mäkinen y Ihde (2006) y Tenzer et al. (2011)].

Criterios de evaluación



- ▶ Modelo más adecuado para el modelado de la altura normal-geoidal

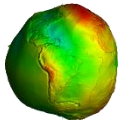
$$\begin{cases} [\eta_P]_{EGM2008} \\ [\eta_P]_{EIGEN-6C4} \\ [\eta_P]_{GOCO05C} \\ [\eta_P]_{XGM2016} \end{cases} \Rightarrow \text{mín } \theta_P = \left| |\eta_P^{ref}| - |\eta_P^{calc}| \right|$$

- ▶ Estándar adoptado para la elección del punto P_0

$$P_0 \Rightarrow \text{mín } \theta_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i$$

- ▶ Evaluación global (todo el Brasil) y regional (por región geográfica).

Resultados y Discusiones

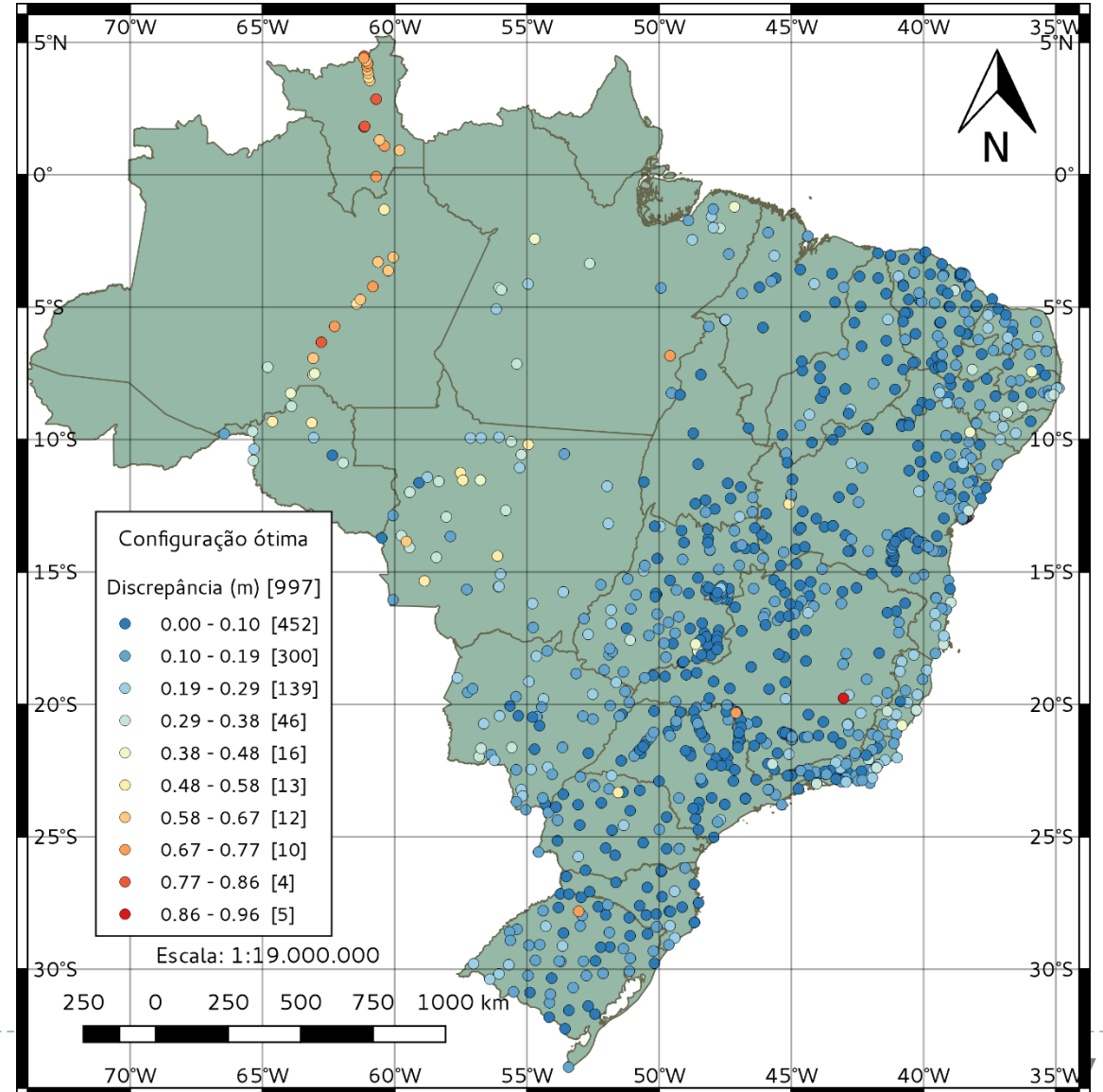
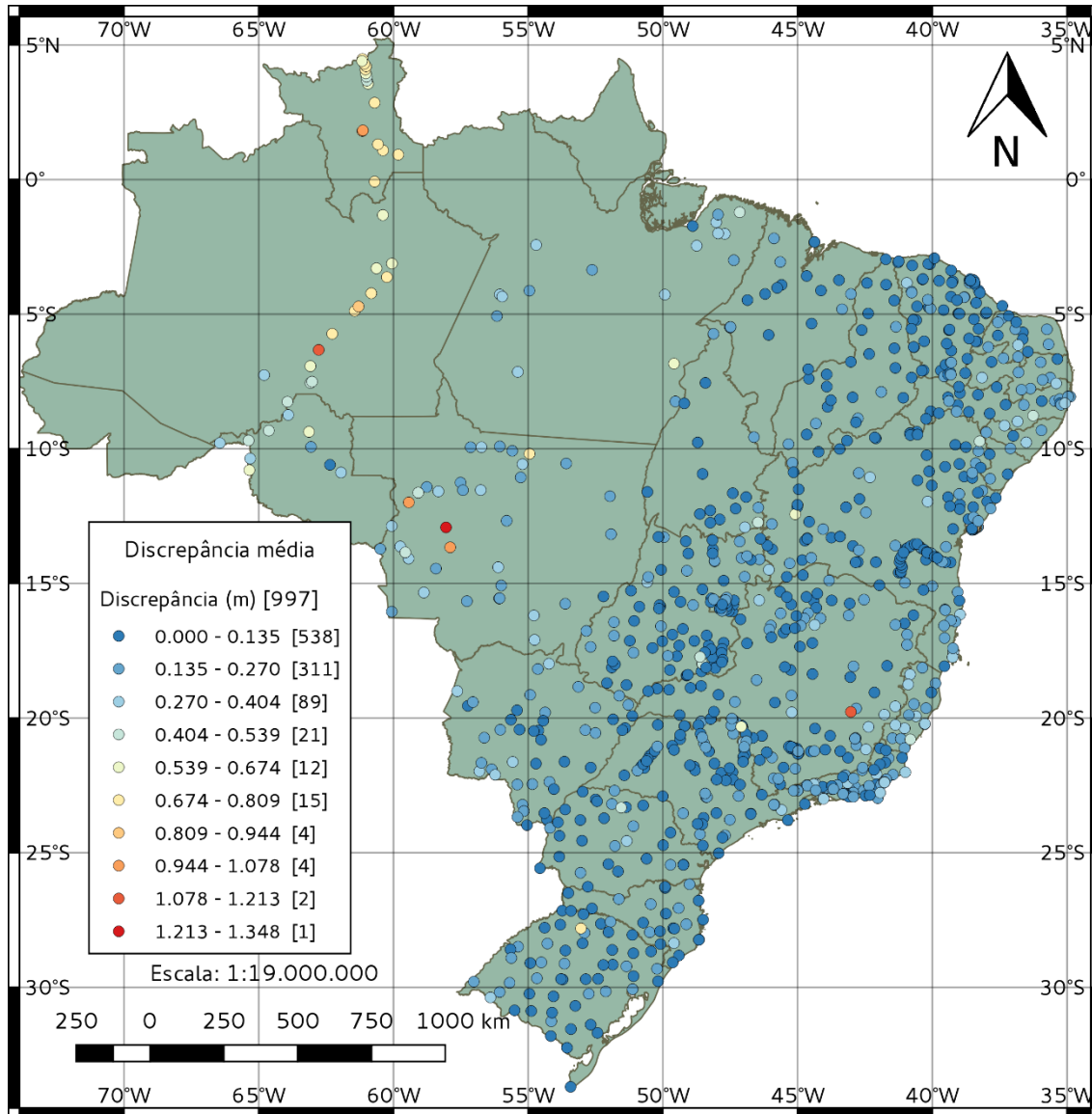
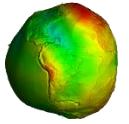


MODELO	DIF	GRAUS DE DESENVOLVIMENTO E FUNCIONAIS DO GEOPOTENCIAL					
		2190		720		360	
		Alt Geoid	Anom Alt	Alt Geoid	Anom Alt	Alt Geoid	Anom Alt
EGM2008	MÍNIMA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	MÉDIA	0,1741	0,1712	0,1807	0,1773	0,2087	0,2081
	MÁXIMA	2,9766	2,9651	2,9292	2,9107	2,5203	2,5009
	RMS	0,2399	0,2354	0,2385	0,2337	0,2362	0,2328
EIGEN-6C4	MÍNIMA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	MÉDIA	0,1548	0,1521	0,1631	0,1612	0,1901	0,1913
	MÁXIMA	1,1824	1,1463	1,1595	1,1208	1,3147	1,3088
	RMS	0,1637	0,1613	0,1665	0,1632	0,1723	0,1723
GOCO05C	MÍNIMA	-	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	MÉDIA	-	-	0,1528	0,1489	0,1802	0,1800
	MÁXIMA	-	-	1,1345	1,1166	1,3084	1,3091
	RMS	-	-	0,1554	0,1504	0,1681	0,1662
XGM2016	MÍNIMA	-	-	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	MÉDIA	-	-	0,1496	0,1461	0,1808	0,1813
	MÁXIMA	-	-	0,9738	0,9596	1,3302	1,3221
	RMS	-	-	0,1518	0,1480	0,1669	0,1662

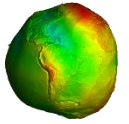
Configuración óptima

Discrepancias, en metros, entre soluciones GNSS/Nivelación y modelado por MGGs en todo el territorio brasileño.

Resultados y Discusiones

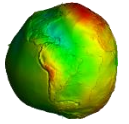


Resultados y Discusiones - Nacionales



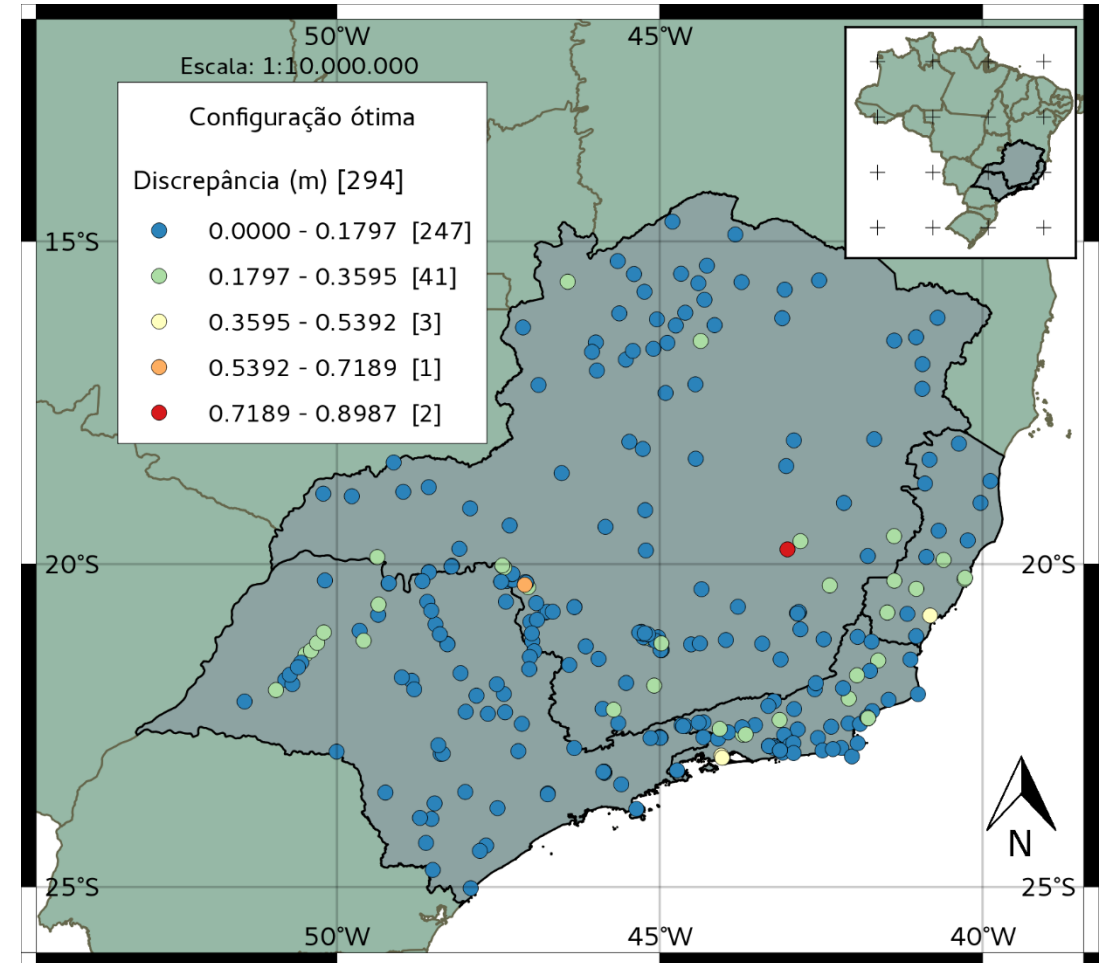
- ▶ Desarrollo hasta grado 360: menos adecuado para modelado [errores de omisión] – 3 a 5 cm de diferencia;
- ▶ Desarrollo hasta grado 719/720: mejor rendimiento de los MGGs XGM2016 (*) y GOCO05c em relación a EIGEN-6C4 y EGM2008 en ambas funcionales;
 - ▶ Configuración óptima nacional: **MGG XGM2016, funcional anomalía de altura, grado 719.**
- ▶ Desarrollo hasta grado 2190: ventaja milimétrica de los MGGs XGM2016 (*) e GOCO05c;
 - ▶ Ausencia de modelado entre grados 720 y 2190 para XGM2016 y GOCO05C;
 - ▶ Precisión promedia centimétrica de las informaciones altimétricas - diferencia no significativa.
- ▶ Rendimiento de la funcional anomalía de altura fue superior a la funcional altura geoidal para modelado de la altura normal-geoidal.
- ▶ XGM2016 (*) y GOCO05C con rendimiento compatible, compatible, mismo con una gran disparidad de grados de desarrollo.

Resultados y Discusiones - Regionales

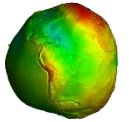


► Ex.: Región Sudeste de Brasil

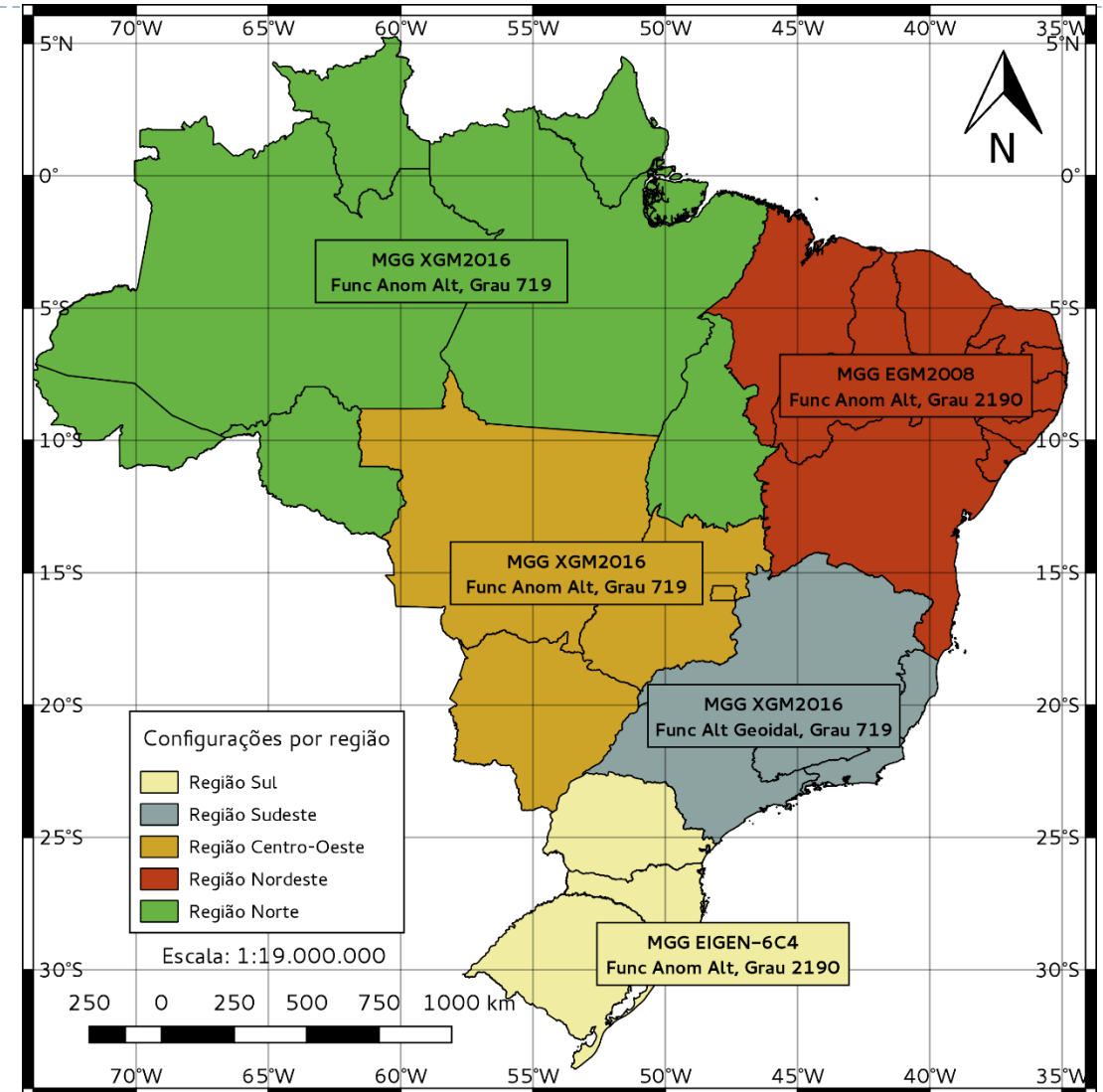
REGIÃO SUDESTE							
MODELO	DIF	GRAUS DE DESENVOLVIMENTO E FUNCIONAIS DO GEOPOTENCIAL					
		2190		720		360	
		Alt Geoid	Anom Alt	Alt Geoid	Anom Alt	Alt Geoid	Anom Alt
EGM2008	MÍNIMA	0,0008	0,0011	0,0000	0,0022	0,0005	0,0007
	MÉDIA	0,1490	0,1484	0,1560	0,1555	0,2026	0,2113
	MÁXIMA	1,0445	1,0468	0,9412	0,9186	1,3380	1,3538
	RMS	0,1438	0,1422	0,1489	0,1469	0,1797	0,1790
EIGEN-6C4	MÍNIMA	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003	0,0005	0,0020
	MÉDIA	0,1167	0,1166	0,1340	0,1355	0,1943	0,2032
	MÁXIMA	0,9793	0,9934	0,9234	0,9509	1,2969	1,3010
	RMS	0,1175	0,1193	0,1263	0,1285	0,1665	0,1753
GOCO05C	MÍNIMA	-	-	0,0006	0,0001	0,0005	0,0001
	MÉDIA	-	-	0,1063	0,1058	0,1786	0,1865
	MÁXIMA	-	-	0,9531	0,9579	1,2763	1,2716
	RMS	-	-	0,1134	0,1111	0,1652	0,1731
XGM2016	MÍNIMA	-	-	0,0003	0,0007	0,0009	0,0003
	MÉDIA	-	-	0,1002	0,1038	0,1815	0,1896
	MÁXIMA	-	-	0,8987	0,9269	1,2967	1,3031
	RMS	-	-	0,1096	0,1062	0,1626	0,1719



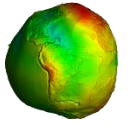
Resultados y Discusiones - Regionales



- ▶ Distintas soluciones y modelos según diferentes funcionales;
 - ▶ Altura normal-geoidal no es perfectamente modelada según ninguna funcional del geopotencial;
- ▶ Rendimientos coherentes con la adición de información y diferente tratamiento de los MGGs modernos;
- ▶ Promedio de los desempeños medios por región diferente del promedio nacional;
 - ▶ Diferentes muestras;
 - ▶ Diferentes adopciones de P_0 .

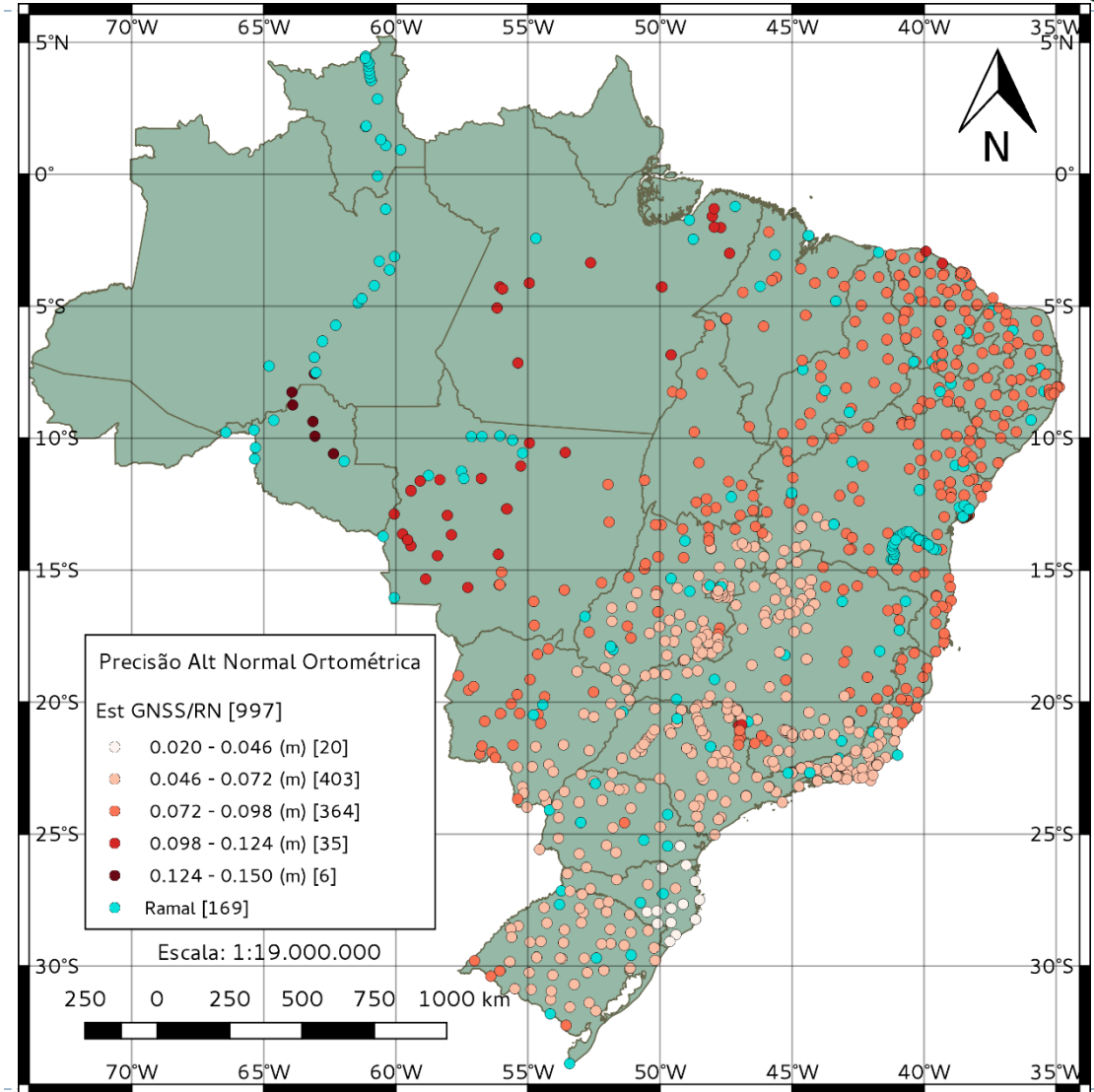
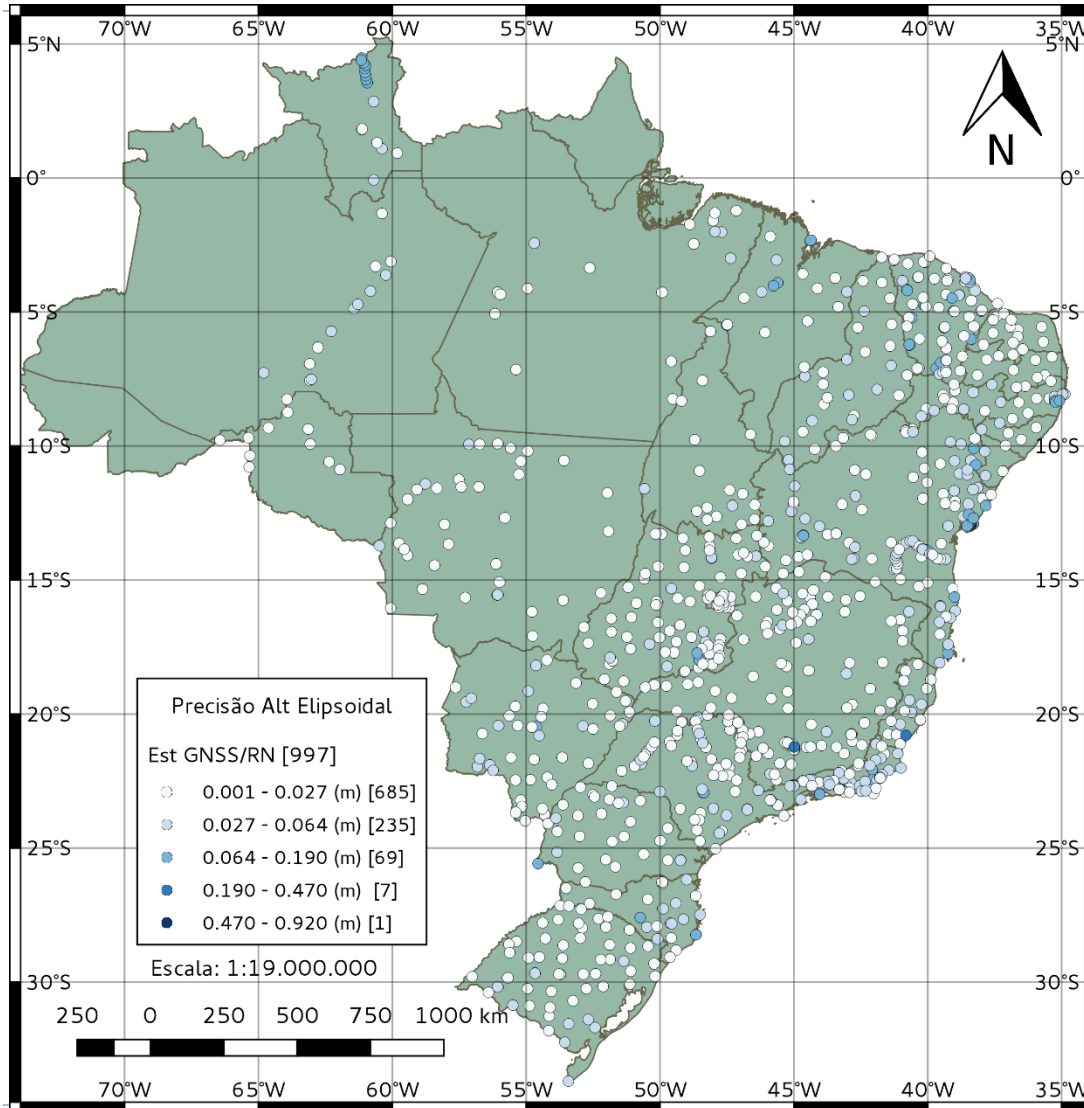
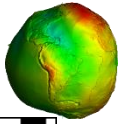


Conclusión y Reflexiones



- ▶ Uso del método relativo;
- ▶ Se prueba el desempeño superior de los MGG modernos (GOCO05C y XGM2016) en comparación con los demás modelos combinados probados (EGM2008 y EIGEN-6C4) cuando todos se desarrollan hasta el grado 720, su grado máximo, y su teórica igualdad cuando todos son utilizados en sus grados máximos individuales;
- ▶ Sus desventajas milimétricas, cuando ocurren, son plenamente justificables por ausencia de modelado debido a la discrepancia entre grados de desarrollo, así como plausible de ser considerada no significativa dada las precisiones altimétricas implicadas;
- ▶ Se ratifica el posicionamiento de los MGG combinados más recientes como exponentes en el histórico de desarrollo de modelos de su tipo, con miras a la amplia divulgación de resultados y de potencialidad de uso;
- ▶ Combinación de MGGs: XGM2016 hasta grado 719 y EIGEN-6C4 desde grado 719 hasta 2190;
- ▶ Expectativa para el MGG EGM2020 [desarrollable hasta g/o 2190];
- ▶ Estándares y límites con significado físico para la adopción del punto P_0 ;
- ▶ Resultados limitados a la calidad de la información de entrada [h e H^{Nort}].

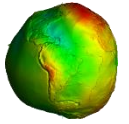
Conclusión y Reflexiones



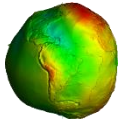
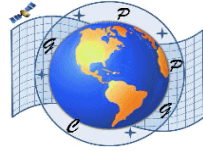
Referencias



Agradecimientos



- ▶ Ejército de Brasil – DCT / DSG;
- ▶ PPGCG/UFPR;
- ▶ Prof.^a Dr.^a Regiane Dalazoana (UFPR);
- ▶ Prof. Dr. Silvio Rogério Correia de Freitas (SIRGAS GT-III & UFPR);
- ▶ Dr. Franz Barthelmes (ICGEM);
- ▶ Organizadores Simposio SIRGAS 2017.



¡Muchas gracias!

Cap Ing. Cart. Eurico **Nicacio**

[euriconicaciojr@gmail.com]

