

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

SUSANA AMARAL TORRES

**ESTUDO DA SEPARAÇÃO ENTRE O GEOIDE E O QUASE
GEOIDE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

PORTO ALEGRE

2022

SUSANA AMARAL TORRES

**ESTUDO DA SEPARAÇÃO ENTRE O GEOIDE E O QUASE
GEOIDE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) como requisito para obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza

PORTO ALEGRE

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitor: Patrícia Helena Lucas Pranke

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vice-Diretor: Tatiana Silva da Silva

Torres, Susana Amaral

Estudo da separação entre o Geoide e o quase Geoide no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. / Susana Amaral Torres. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2022.
[88 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR). Porto Alegre, RS - BR, 2022.

Orientador: Sergio Florencio de Souza

1. Geodésia. 2. Altitude Normal. 3. Altitude Ortométrica. 4. Separação entre Geoide e Quase Geoide. 5. Título.

CDU 528.8

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

SUSANA AMARAL TORRES

**ESTUDO DA SEPARAÇÃO ENTRE O GEOIDE E O QUASE
GEOIDE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski - UFRGS

Prof. Dr. Gilberto Gagg - UFRGS

Prof. Dr. Reginaldo Macedonio da Silva - UFRGS

Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza – UFRGS (Orientador)

Aprovado em: ____ de _____ de 2022.

“Todo aquele que se dedica ao estudo da ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar-nos.”

Albert Einstein

RESUMO

Os sistemas altimétricos podem ser definidos como um sistema métrico no qual se quantifica a separação de duas superfícies de referência, segundo uma determinada direção específica. A separação entre as altitudes ortométrica e normal é geralmente da ordem de alguns centímetros, mas pode chegar a metros em áreas com grande variação altimétrica. A maior contribuição é devido às variações das densidades das massas topográficas e por causa da resolução e exatidão do Modelo Topográfico. Em meados de 2018, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tornou oficial o emprego da altitude normal ao sistema vertical brasileiro e passa a seguir às recomendações internacionais para o estabelecimento de um Sistema de Referência Internacional para Altitudes (*International Height Reference System - IHRS*) e a respectiva realização (materialização) global (*International Height Reference Frame - IHRF*). A recomendação oficial do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) sobre as altitudes físicas é de utilizar a altitude normal; porém, na realização do sistema, cada país poderá introduzir o tipo de altitude física que prefira, junto com a superfície de referência correspondente: geoide para as altitudes ortométricas ou quase geoide para altitudes normais. O presente estudo se propõe a avaliar o valor da Separação entre Geoide e Quase Geoide (SGQG), a partir das diferenças entre as altitudes ortométrica e normal. A área de estudo localiza-se na região sul do Brasil e compreende o estado do Rio Grande do Sul (RS). O RS é delimitado pelas latitudes 34°S e 27°S e pelas longitudes 48°O e 58°O, fazendo fronteira ao norte com o estado de Santa Catarina, a oeste com a Argentina, ao leste com o Oceano Atlântico e ao sul com o Uruguai. Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizados, dados altimétricos, gravimétricos; mapa de densidades das massas topográficas derivadas a partir do mapa geológico; bem como os coeficientes do Modelo Global do Geopotencial *Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. A SGQG encontrada varia de -6 cm a 10 cm, sendo que os maiores valores são observados no município de São José dos Ausentes e áreas adjacentes; para o restante do estado do RS essa separação não ultrapassa 2 cm. Os efeitos da variação da densidade na determinação da altitude ortométrica foi estimada em 2 cm, e os maiores valores encontram-se verificados na região nordeste do estado do RS. Os resultados desta pesquisa mostraram a necessidade da efetiva incorporação das variações das densidades das massas topográficas aos cálculos da SGQG, quando se almeja a determinação das altitudes ortométricas.

Palavras-chaves: Altitude Normal. Altitude Ortométrica. Separação entre Geoide e Quase Geoide.

ABSTRACT

Height systems can be defined as a metric system in which the separation of two reference surfaces is quantified, according to a specific direction. The separation between orthometric and normal heights is usually of the order of a few centimeters but can reach meters in areas with large height variations. The largest contribution is due to the variations in topographic mass densities and because of the resolution and accuracy of the Topographic Model. In mid-2018, the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) made official the use of the normal height to the Brazilian vertical system and starts to follow the international recommendations for the establishment of an International Height Reference System (IHRIS) and the respective global realization (materialization) (International Height Reference Frame - IHRF). The official recommendation of the Geocentric Reference System for the Americas (SIRGAS) on physical heights is to use the normal height; however, in the realization of the system, each country may introduce the type of physical height it prefers, together with the corresponding reference surface: geoid for orthometric heights or near-geoid for normal heights. The present study proposes to evaluate the value of the Separation between Geoid and Quasegeoid (SGQG), from the differences between orthometric and normal heights geopotential model coefficients. The study area is located in the southern region of Brazil and comprises the State of Rio Grande do Sul (RS). The State of RS is delimited by latitudes 34°S and 27°S and longitudes 48°W and 58°W, bordered to the north by the State of Santa Catarina, to the west by Argentina, to the east by the Atlantic Ocean, and to the south by Uruguay. The development of this study was used, altimetric, gravimetric data; topographic mass densities map derived from the geological map; as well as the coefficients of the Global Geopotential Model Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). The SGQG found varies from -6 cm to 10 cm, and the highest values are observed in the municipality of São José dos Ausentes and adjacent áreas; for the rest of the State of RS, this separation does not exceed 2 cm. The effects of density variation on the determination of orthometric height were evaluated was estimated at 2 cm, and the highest values are found in the northeastern region the State of RS. The results of this research showed the necessity of the effective incorporation of topographic mass density variations in SGQG calculations, when the determination of orthometric heights is aimed.

Key-words: Normal Height. Orthometric Height. Separation between Geoid and Quasigeoid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Altitudes Niveladas e Números Geopotenciais.	22
Figura 2 - O Número Geopotencial (C_P) de um ponto P.....	22
Figura 3 - Diferentes Altitudes e Superfícies de Referência.....	24
Figura 4 - Altitudes Normal e Ortométrica de um ponto P.....	26
Figura 5 - Variação da altitude ortométrica devido à variação da densidade topográfica $\delta\rho$ [cm].....	27
Figura 6 - Redução Poincaré-Prey.....	27
Figura 7 - Superfícies de Referência.....	29
Figura 8 - Área de Estudo: Estado do Rio Grande do Sul.....	30
Figura 9 - Rio Grande do Sul: RRNN e Estações Gravimétricas: LAGEO e IBGE....	31
Figura 10 - RRNN do BDG do IBGE.....	32
Figura 11 - Mapa de Variação das Densidades Topográficas.....	34
Figura 12 - Modelo do Geopotencial: 104_EGM2008.....	37
Figura 13 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal) → Ordenamento: RRNN.....	40
Figura 14 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal) → Ordenamento: Altitude Normal [IBGE] (m).....	40
Figura 15 - RN 2106R-São Francisco de Paula/RS.....	41
Figura 16 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal).....	42
Figura 17 - Localização geográfica das 2900 RRNN e das maiores e menores diferenças entre as Altitudes Ortométricas.....	44
Figura 18 - Localização geográfica das 37 RRNN – Distribuição Normal: 99,7%	45
Figura 19 - Localização geográfica das 82 RRNN – Distribuição Normal: 95%	48
Figura 20 - RRNN vs Diferença entre a Gravidade Medida e a Gravidade Reconstituída (mGal).....	50
Figura 21 - Estudo de Caso: 220 RRNN vs Altitude Normal (m), Gravidade Medida (mGal) e Gravidade Reconstituída (mGal).....	51
Figura 22 - Estudo de Caso: 220 RRNN vs Altitude Normal (m) da Área de Estudo & Geomorfologia.....	52
Figura 23 - RRNN de São José dos Ausentes/RS e Porto Alegre/RS vs Diferença: entre Altitudes Ortométricas (cm) & entre Densidades (g/cm^3).....	54
Figura 24 - RRNN de São José dos Ausentes/RS vs Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm).....	55
Figura 25 - RRNN de Porto Alegre/RS vs Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm).....	55
Figura 26 - Diferença entre Altitudes Ortométricas (cm).....	56
Figura 27 - RRNN vs Altitude Normal (m) & Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm) → Ordenamento: RRNN.....	58
Figura 28 - RRNN vs Altitude Normal (m) & Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm) → Ordenamento: Altitude Normal [IBGE].....	58

Figura 29 - Mapa da Diferença entre Anomalia da Altitude e Ondulação Geoidal do Modelo EGM2008 (cm).....	60
Figura 30 - Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm).....	61
Figura 31 - Diferença entre a Anomalia de Altitude e a Ondulação Geoidal (cm)	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fonte do Banco de Dados Gravimétrico	31
Tabela 2 - Fonte do Banco de Dados Altimétrico	32
Tabela 3 - Coeficientes do Modelo Geopotencial EGM2008.....	36
Tabela 4 - Modelo: Organização do Arquivo de Entrada de Dados	38
Tabela 5 - Estatística: Gravidade Medida, Gravidade Reconstituída, Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (EGM2008) (mGal) e Densidade das Massas Topográficas (g/cm^3) (2900 RRNN)	39
Tabela 6 - Estatística das Altitudes Ortométricas: Análise da influência da Gravidade Medida e da Gravidade Reconstituída (2900 RRNN)	42
Tabela 7 - Valores máximos e mínimos: Diferença de Altitudes Ortométricas: [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (2900 RRNN)	43
Tabela 8 - Estatística das Altitudes Ortométricas: Análise da influência da Gravidade Medida e da Gravidade Reconstituída (2863 RRNN)	45
Tabela 9 - Diferença de Altitudes Ortométricas: [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (37 RRNN)	46
Tabela 10 - Situações com diferentes Distribuições Normais para analisar o Efeito da Gravidade na determinação da Altitude Ortométrica	47
Tabela 11 - Diferença de Altitudes Ortométricas: [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (82 RRNN)	48
Tabela 12 - Valores da SGQG obtida através da diferença da Altitude Normal e Ortométrica para os municípios de São José dos Ausentes e Porto Alegre/RS	53
Tabela 13 - Valores da Densidades & Diferença entre as Densidades Variável e Constante para os municípios de São José dos Ausentes e Porto Alegre/RS	53
Tabela 14 - Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm).....	57
Tabela 15 - Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal & Diferença entre a Anomalia de Altitude e a Ondulação Geoidal (2900 RRNN).....	59
Tabela 16 - Estatística da SGQG [Máximos e Mínimos] (2900 RRNN).....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDG	Banco de Dados Geodésicos
CE	Ceará
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DF	Distrito Federal
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EGM2008	<i>Earth Gravitational Model 2008</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GQG	Correção Geoide e Quase Geoide
GRACE	<i>Gravity Recovery And Climate Experiment</i>
GRS80	Sistema de Referência Geodésico 1980 (<i>Geodetic Reference System 1980</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
ICGEM	<i>International Centre for Global Earth Models - Gravity Field Models</i>
IGFS	<i>International Gravity Field Service</i>
IHRF	<i>International Height Reference Frame</i>
IHRS	<i>International Height Reference System</i>
LAGEO	Laboratório de Pesquisas em Geodésia
MT	Mato Grosso
NMM	Nível Médio do Mar
PA	Pará
RAFB	Rede Altimétrica Fundamental do Brasil
RAAP	Rede Altimétrica de Alta Precisão
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de Nível
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGQG	Separação entre Geoide e Quase Geoide
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização de 2000,4
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SIMBOLOS

α	achatamento do elipsoide
γ	gravidade normal
γ_e	gravidade normal no equador
γ_p	gravidade normal nos polos
$\bar{\gamma}$	valor médio da gravidade normal medida sobre a linha normal entre o teluroide e o elipsoide de referência
φ	latitude
λ	longitude
ζ	anomalia de altitude
π	número irracional cujo valor é 3,14159265358979323846..., que resulta da divisão do perímetro pelo diâmetro de um círculo.
ρ	densidade
ρ_{\min}	densidade mínima
ρ_{\max}	densidade máxima
$\delta\rho$	variação da densidade topográfica
Δg	anomalia da gravidade
Δh_i	representa os desníveis observados
$\partial g / \partial h$	gradiente linear normal equivalente a $-0,3086$ (mGal/m)
a	semieixo maior do elipsoide
b	semieixo menor do elipsoide
\bar{C}_{nm}	são coeficientes totalmente normalizados, de grau n e ordem m
C_P	número geopotencial no ponto P , na superfície terrestre
dh	separação de duas superfícies infinitamente próximas
D. Cte	densidade constante
D. Var	densidade variável
e	excentricidade
g	valor de gravidade real na superfície
g^*	valor de gravidade considerado
g_i	são os valores médios da gravidade determinados em cada seção nivelada, ou seja, é a média da gravidade observada nos extremos da seção nivelada
\bar{g}	valor médio da gravidade no interior da crosta, entre o geoide e o ponto superficial
$g_i \Delta h_i$	número geopotencial do ponto P , na superfície terrestre
$g(z)$	valor da gravidade até a distância z

G	constante gravitacional equivalente a $6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
h	altitude elipsoidal
h_P	altitude elipsoidal do ponto P, na superfície terrestre
H^F	altitude física
H^*	altitude normal
H_P^*	altitude normal do ponto P, na superfície terrestre
H	altitude ortométrica
H_P	altitude ortométrica do ponto P, na superfície terrestre
i	número da seção nivelada
j	número de seções niveladas
m	constante física sem unidade equivalente a 0,00344978600308 (GRS80)
N	altura geoidal ou ondulação geoidal
P	ponto na superfície terrestre
P'	ponto na superfície do geoide
Q	ponto na superfície do teluroide
Q'	ponto na superfície do quase geoide
Q''	ponto na superfície do geoide
Q_0	ponto na superfície do elipsoide
\bar{S}_{nm}	são coeficientes totalmente normalizados, de grau n e ordem m
T	potencial anômalo
U	Terra normal (esferopotencial)
U_Q	esferopotencial do ponto Q, na superfície do teluroide
U_0	esferopotencial da superfície do modelo (elipsoide de referência)
z	altitude física do ponto Q, na superfície do teluroide
W	Terra real (geopotencial)
W_0	geopotencial no geoide
W_P	geopotencial no ponto P, na superfície terrestre

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Altitudes Físicas	21
2.1.1	Altitude Normal ou de Molodenski	23
2.1.2	Altitude Ortométrica	25
2.2	Relação entre a Altitude Ortométrica e a Altitude Normal	29
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Descrição de Área de Estudo	30
3.2	Dados utilizados	30
3.2.1	Dados Gravimétricos e Altimétricos.....	30
3.2.2	Mapa de Variação das Densidades Topográficas	32
3.2.3	Modelos do Geopotencial	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Efeito da Gravidade Reconstituída na Determinação da Altitude Ortométrica	39
4.2	Análise da Separação entre o Geoide e o Quase Geoide a partir da Altitude Ortométrica	56
5.	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65
	ANEXOS:	70
	ANEXO A - SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO 1980 (GRS80)	71
	ANEXO B - PROGRAMAÇÃO EM MATLAB	73

1. INTRODUÇÃO

Uma rede altimétrica com informações altamente precisas, principalmente quanto à compatibilidade das mesmas a nível internacional, constitui uma importante necessidade dentro da modernização da componente vertical do Sistema Geodésico. Os sistemas altimétricos podem ser definidos como um sistema métrico no qual se quantifica a separação de duas superfícies de referência, segundo uma determinada direção específica. Na abordagem convencional dos problemas de Geodésia Física, é necessário conhecer a densidade das massas externas ou fazer suposições a respeito. Para evitar isso, Molodenski, em 1945, introduziu a concepção do sistema de altitudes normal (HEISKANEN & MORITZ, 1967; HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ, 2005).

Segundo Freitas (1999), a Geodésia está preocupada com o estudo e determinação do geoide e com sua determinação. A forma pode ser deduzida pelo campo de gravidade que modela a distribuição de massa e efeito rotacional da Terra. A determinação da função potencial envolve o Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG), como por exemplo: deduzir a forma por um modelo do geopotencial; ou, estudar diretamente a forma ao invés do potencial, obtendo-se as irregularidades da superfície geoidal relativamente a um modelo teórico, porém este é limitado por uma superfície de nível, a superfície elipsoidal; ou, ainda, uma solução local pode ser obtida a partir de observações sobre satélites artificiais (GPS) quando conduzidas sobre uma referência de nível.

Segundo IAG (2015), Associação Internacional de Geodésia (IAG - *International Association of Geodesy*), a busca pela definição de um Sistema de Referência Internacional para Altitudes (IHRS - *International Height Reference System*) deve ser realizada tomando-se como referência uma superfície equipotencial do campo da gravidade com valor de geopotencial $W_0 = 62.636.853,4 \text{ m}^2/\text{s}^2$, observando-se as seguintes particularidades diferentes de cada país: níveis de referência; *data* verticais; marégrafos; registros do Nível Médio do Mar (NMM); e, metodologias de levantamento. As altitudes normais se mantêm relacionadas aos referenciais altimétricos atualmente vigentes no Brasil, Imbituba (SC) e Santana (AP), ambos definidos, em cada caso, a partir de um único valor do NMM calculado com dados coletados em uma única estação maregráfica (IAG, 2015).

O Brasil se alinha às recomendações internacionais para o estabelecimento de um Sistema de Referência Internacional para Altitudes (IHRs) e a respectiva realização (materialização) global (IHRF - *International Height Reference Frame*), cuja primeira versão contará com seis estações de referência no Brasil: Imbituba (SC), Presidente Prudente (SP), Cuiabá (MT), Marabá (PA), Fortaleza (CE) e Brasília (DF).

Segundo o IBGE (2021), o Sistema de Referência para medição de altitudes no território nacional, é realizado através de sua Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), formada pelas estações geodésicas altimétricas denominadas referências de nível (RRNN), implantadas ao longo da malha viária por todo o país. Antes de 30 de julho de 2018, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizava as altitudes normais-ortométricas das RRNN do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e, desde então, a partir do reajustamento altimétrico da RAAP em termos de seus números geopotenciais, o Banco de Dados Geodésicos (BDG), passou a fornecer as altitudes normais das RRNN e respectivos números potenciais.

A diferença entre as superfícies de referência para altitudes ortométricas e altitudes normais, que também pode ser definida pela Separação entre o Geoide e o Quase Geoide¹ (SGQG), é normalmente da ordem de alguns decímetros; mas pode chegar a quase 4 m em casos extremos, como, por exemplo, de acordo com o estudo realizado por Schwabe *et al.* (2016), na região da Cordilheira do Himalaia. O conhecimento dessa diferença com precisão centimétrica, é importante para modernização do sistema altimétrico de quaisquer países, incluindo o Brasil.

1.1 Objetivos

O objetivo principal desse estudo consiste em analisar a separação entre o Geoide e o Quase Geoide no estado do Rio Grande do Sul, a partir da análise das diferenças entre as altitudes ortométricas e normais.

Assim, para atingir os objetivos deste estudo foram desenvolvidas as seguintes análises:

- 1) Analisar a influência da gravidade reconstituída na determinação da altitude

¹ Neste trabalho a palavra "*quasi-geoide*" - do inglês, foi traduzida para o português como "quase geoide". Visto que a Academia Brasileira de Letras (ABL) sugeriu, a partir de novembro de 2008: "Excluir o emprego do hífen nos casos em que as palavras 'não' e 'quase' funcionam como prefixos", conforme uma nota editorial da 5.^a edição do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa (VOLP). <https://www.academia.org.br/sites/default/files/conteudo/nota_editorial.pdf>

ortométrica;

- 2) Calcular as Altitudes Ortométricas, sem considerar o efeito da variação das densidades a partir dos números geopotenciais;
- 3) Calcular e Analisar o procedimento anterior considerando o efeito da variação da densidade topográfica;
- 4) Comparar a Separação entre Geoide e Quase Geoide (SGQG), com os valores obtidos a partir do modelo geopotencial *Earth Gravitational Model 2008* (EGM2008).

1.2 Justificativa

De acordo com Sánchez *et al.* (2013) a definição do novo sistema de referência vertical do SIRGAS (*Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*) é idêntica à definição do Sistema de Referência de Altitude Internacional (*International Height Reference System - IHRS*) dado pela Resolução nº 1 de 2015 da Associação Internacional de Geodésia (*International Association of Geodesy - IAG*). A realização do novo sistema de referência vertical do SIRGAS deve ser uma densificação regional da realização do Sistema de Referência de Altitude Internacional (*International Height Reference Frame - IHRF*); ainda de acordo com essa resolução, deve estar referenciado ao valor de W_0 convencional; ser dado por altitudes físicas apropriadas (derivadas do nivelamento geométrico associado a reduções gravimétricas ou a análises do campo de gravidade de alta resolução) e estar associada a uma época de referência específica, isto é, deve considerar as mudanças de altitude e seu nível de referência em relação ao tempo. A respectiva superfície de referência (geoide ou quase geoide) deve ser determinada de maneira unificada em todo o continente. Para atender essas especificações, o Brasil realizou, em 2018, o reajustamento da rede Altimétrica, o que possibilitou determinar o número geopotencial para todas as referências de níveis e, assim, calcular as altitudes normais. O problema em determinar a separação entre as altitudes ortométrica e normal é o mesmo que determinar a diferença entre o geoide e o quase geoide. De acordo com Ferreira *et al.* (2011), uma questão amplamente discutida entre os geodestas seria qual altitude física é mais apropriada: Normal ou Ortométrica. Independente de qual o sistema de altitudes adotado pelos países, para o Brasil, foi adotado a altitude normal. Para realizar a conversão entre sistemas de altitudes diferentes, de forma adequada, faz-

se necessário conhecer os efeitos que alteram a sua determinação.

1.3 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação de mestrado está dividida em quatro capítulos. No capítulo 01, denominado de “Introdução”, apresenta-se os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho. No capítulo 02, “Fundamentação Teórica”, faz-se uma revisão bibliográfica da base teórica com respeito ao tema proposto. No capítulo 03, “Material e Métodos”, aborda-se a área de estudo, detalha-se como foram obtidos os dados utilizados para a realização deste estudo, descreve-se como foram realizados os experimentos de maneira a alcançar os objetivos propostos. No capítulo 04, “Resultados e Discussões”, apresenta-se os resultados obtidos das análises com suas respectivas considerações. No Capítulo 05, “Conclusão”, são relatadas as conclusões do que foi observado a partir dos experimentos e das pesquisas bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Blitzkow, Campos & Freitas (2004), a seleção do tipo de altitude a ser usada e a escolha da superfície de referência são primordiais em aplicações práticas da altimetria. Sendo assim, distinguem dois tipos fundamentais de altitudes: não vinculadas ao campo da gravidade terrestre, conhecidas como altitudes geométricas (elipsoidal, nivelada e normal); e as ligadas ao conceito físico do campo de gravidade, podendo ou não ter também uma interpretação geométrica associada, chamadas altitudes físicas (dinâmica e ortométrica) (SÁNCHEZ, 2002; GEMAEL, 2012).

Segundo Dalazoana (2001, 2005), o sistema altimétrico clássico de Stokes, que se utiliza das ondulações geoidais (N) e da altitude ortométrica (H), depende do *Datum* vertical nacional e das linhas de nivelamento e distribuição de massas topográficas, bem como o Nível Médio do Mar (NMM) coincidente com o geoide no seu ponto origem. O sistema altimétrico atual vale-se de tecnologias inovadoras, tais como: Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG) na forma fixada, altimetria com GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), independente do nivelamento. Os aspectos atuais da definição do *Datum* vertical são: NMM diferente do geoide global (W_0), a diferença entre o NMM e o W_0 é chamada de Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM ou SSTop - *Sea Surface Topography*), a TNMM varia globalmente em até ± 2 m, em função de fenômenos meteorológicos e oceanográficos (HEISKANEN & MORITZ, 1967; FOROUGH *et al.*, 2017; LUZ, 2008). A partir de 30 de julho de 2018 o IBGE adota a altitude normal (H^*) e, conseqüentemente, a anomalia de altitude (ζ).

A recomendação oficial do SIRGAS (2019) sobre as altitudes físicas é de utilizar a altitude normal; porém, caso alguns países queiram adotar altitudes ortométricas, o novo sistema vertical de referência para o SIRGAS se define em termos de quantidades de potencial (W_0 como a superfície de referência e número geopotencial como coordenadas primárias). Assim, na realização do sistema, cada país poderá introduzir o tipo de altitude física que prefira, junto com a superfície de referência correspondente: geoide para as altitudes ortométricas ou quase geoide para altitudes normais. Diferentes países vêm adotando diferentes altitudes, como ortométrica, na Argentina (IGN, 2017), na Etiópia (BELAYA *et al.*, 2022), no México (INEGI, 2015), e normal, no Brasil, onde seu uso é baseado em números geopotenciais (IBGE, REALT (2018)). Ainda há muitas discussões na comunidade científica em relação à escolha

de qual altitude é mais adequada para uso. Ainda, segundo SIRGAS (2019), as atividades relacionadas à definição e realização do novo sistema de referência vertical para SIRGAS são coordenadas pelo SIRGAS-GTIII: *Datum* vertical.

Segundo o IBGE (2021), o geoide é a superfície equipotencial que mais se aproxima do NMM. Uma superfície equipotencial é em todos os seus pontos perpendicular à direção da vertical ou vice-versa, sobre a qual estão referidos todos os cálculos geodésicos. As diferenças entre a gravidade medida e a normal levam ao conceito de quase geoide, ao qual se refere a altitude normal, distância entre um ponto e o quase geoide, medida ao longo da linha de força do campo da gravidade normal ou linha vertical normal.

Segundo o IBGE (2021), em 2015 foi tomada a decisão de iniciar um novo ajustamento, que teve como principal justificativa a necessidade de modernização da componente vertical do SGB, em consonância com as recomendações científicas emanadas do *International Association of Geodesy, Executive Committee 2011-2015*, (2015), bem como de divulgação de altitudes com significado físico aos usuários do SGB, associada a disponibilidade de observações de gravidade no território brasileiro. Assim, do bloco principal da Rede Altimétrica Fundamental do Brasil (RAFB) foram excluídas as linhas com inconsistências cujas causas não puderam ser identificadas e corrigidas. Destas, as que tinham erros relativos até $12\text{mm} \cdot (K)^{1/2}$, foram ajustadas separadamente, a fim de não contaminar o ajustamento do bloco principal (o coeficiente (K) se refere a distância percorrida em km, ou seja, é a soma das distâncias em que o equipamento foi estacionado). Grande parte desses ajustamentos teve seus resultados incluídos na 1ª edição do REALT, mas algumas linhas foram concluídas após aquela divulgação, totalizando 1876 RRNN, incluídas na 2ª edição do REALT disponibilizada em 30 de setembro de 2019. As linhas com erros relativos acima do mencionado limite, compostas por 1070 RRNN, ainda se encontram em análise para solução das inconsistências. Deste modo, o Relatório de Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais de 2018 do IBGE, REALT (2018), disponibilizou valores de altitudes normais para as RRNN existentes. Para isso foi necessário o cálculo do valor do número geopotencial, que foi obtido por meio dos desníveis altimétricos em conjunto com os valores de gravidade existentes no país (IBGE (2021): REALT, 2019).

Os autores, Foroughi & Tenzer (2017), investigaram a separação geoide para

quase geoide sobre a área de estudo regional no Himalaia e no Tibete, incluindo regiões vizinhas de planícies de bacias continentais, a fim de estimar um deslocamento vertical máximo entre o geoide e o quase geoide, ou diferenças equivalentes entre a altitude normal e ortométrica. Foroughi & Tenzer (2017) compararam os resultados obtidos de três métodos diferentes, principalmente usando os métodos clássico, preciso e de Sjöberg (2012). Os autores verificaram uma dependência significativa da separação geoide para quase geoide em locais com geometria de terreno com acentuadas variações, salientando que as separações máximas geoide a quase geoide não coincidem necessariamente com as maiores elevações topográficas. Os resultados obtidos pelos autores revelaram que a separação geoide a quase geoide calculada de acordo com o método clássico é apenas negativa, e quando se leva em consideração a análise de sensibilidade, os valores tipicamente negativos da separação geoide e quase geoide, atingem valores positivos ao longo das encostas do Himalaia. Ou seja, em contraste com as contribuições relativamente pequenas das variações de densidade de sedimentos e rochas, a contribuição das geleiras polares é significativa mesmo fora das áreas polares, no caso, no Himalaia e no Tibete. Segundo Tenzer *et al.* (2016), esses valores podem parecer irrealisticamente grandes quando comparados com a estimativa global da contribuição das geleiras. Pois, a contribuição topográfica globalmente varia entre $-0,33$ m e $0,57$ m, com máximos no Himalaia e no Tibete; enquanto este estudo indica que esta contribuição é muito maior, com valores entre $-2,11$ m e $3,74$ m. Ambas as contribuições topográficas e das geleiras dependem significativamente da resolução espectral, bem como o *grid* de coordenadas utilizado. A contribuição não topográfica é, por outro lado, muito menos sensível no espectro de maior grau dos harmônicos esféricos (de 360 a 2160).

Segundo Flury & Rummel (2009), a informação necessária para a determinação da separação entre geoide e quase geoide ($N - \zeta$) é o conhecimento da gravidade média (\bar{g}). Este é o mesmo problema encontrado ao se determinar altitudes ortométricas precisas. A determinação da \bar{g} é baseada em conhecimentos e suposições sobre a forma e densidade de massas topográficas, suposições contornadas na teoria de Molodenski. O esforço e a precisão da determinação da \bar{g} dependem da altitude, forma e complexidade geológica da topografia. Conseguir uma boa precisão em \bar{g} é simples nos casos de terreno baixo, plano e geologicamente

homogêneo, ao passo que é trabalhoso para topografia alta, robusta e geologicamente complexa.

Segundo Sjöberg (2018), na chamada correção geóide e quase geóide (GQG), o geóide é uma superfície de referência importante em geodesia e geofísica. O quase geóide, introduzido por Molodenski, não é uma superfície equipotencial e não tem significado especial em geofísica. O geóide serve como a superfície de referência ideal para sistemas de altitude em todos os países que adotam altitudes ortométricas, enquanto o resto do mundo usa o quase geóide com sistemas de altitude normal. Uma vantagem da introdução de altitude normal e quase geóide de Molodenski é que o primeiro pode sempre ser determinado a partir de nivelamento preciso, tendo seu nível zero no elipsoide de referência, e o último por nivelamento GNSS, ambos sem qualquer informação sobre a distribuição de densidade da Terra, mesmo que sejam ambíguos. Em contraste, o geóide está relacionado com as altitudes ortométricas, que dependem da densidade topográfica e precisam de um modelo de geóide fixo como nível zero, enquanto o nível zero para a altitude normal é a superfície bem definida do elipsoide de referência. Portanto, a grande vantagem do quase geóide para o geóide é que ele pode ser determinado sem o conhecimento da distribuição da densidade topográfica. Segundo Sjöberg & Bagherbandi (2017), o quase geóide pode ser determinado com mais precisão, enquanto o modelo geóide sempre sofre com a incerteza no modelo devido à falta de informações relacionadas a estrutura interna da Terra. O geóide é uma superfície geopotencial, diferentemente do quase geóide. Assim, esse é mais adequado para interpolação entre pontos distintos, fato que pode ser relevante em modelos de alta resolução.

Albarici *et al.* (2018) avaliaram a SGQG sobre uma linha de nivelamento no estado de São Paulo, através do cálculo das altitudes normal e ortométrica rigorosa. Os autores, através de testes numéricos, observaram que a separação encontra-se com valores entre $-0,50$ m e $0,50$ m, para a área de estudo, sem levar em consideração o efeito da densidade. Utilizando-se da altitude ortométrica rigorosa, onde se avalia a gravidade média ao longo do fio de prumo, levando-se em consideração as variações de densidades topográficas e de massas acima do geóide, os valores são menores, ficando no intervalo de $-0,05$ m a $0,20$ m, para a mesma área. Em relação ao mesmo tipo de estudo, Ferreira *et al.* (2011) avaliaram a SGQG no estado do Paraná, analisando as metodologias tradicionalmente empregadas para a

quantificação desta separação, e obtiveram os seguintes resultados: concluem que a negligência da mesma pode acarretar em diferenças da ordem de 4 cm; e recomendam a utilização de um modelo de variação da densidade com uma qualidade melhor ao que foi adotado na pesquisa.

O IBGE (2021) lançou em 05 de agosto de 2021, um aplicativo com um novo modelo para conversão de altitudes, o hgeoHNOR2020, que fornece a separação entre o elipsoide de referência das altitudes geométricas em SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e as superfícies de referência da realização REALT 2018 da componente vertical do SGB (*data* verticais de Imbituba/SC e Santana/AP). Até então era usado o aplicativo MAPGEO2015, calculado a partir das medições da gravidade terrestre feitas pelo IBGE e instituições, como o Observatório Nacional, o Serviço Geológico do Brasil e a Universidade Federal do Paraná. A vantagem do hgeoHNOR2020 é diminuir a incerteza da conversão das altitudes para menos da metade em relação aos resultados do modelo anterior. Em grande parte do território brasileiro, a diferença absoluta entre o hgeoHNOR2020 e o MAPGEO2015 é menor que 50 cm. Contudo, na Região Amazônica, as diferenças são de até -95 cm, devido às dificuldades em relação a cobertura florestal para a realização das medições altimétricas de alta precisão, e no estado do Amapá, as diferenças são de +60 cm a +80 cm, pois altitudes físicas se referem ao NMM observado no Porto de Santana/AP. Para o restante do país, as altitudes físicas são contadas a partir do NMM no Porto de Imbituba/SC. Segundo o IBGE (2021), apesar das altitudes físicas atuais da RAAP serem do tipo normal, sua superfície de referência não pode ser considerada equivalente ao quase geoide global, pois foram mantidos os valores de referência dos *data* verticais de Imbituba/SC e Santana/AP, e, também, por não terem sido usadas as metodologias convencionais para modelagem do campo da gravidade (IBGE, 2021).

2.1 Altitudes Físicas

As altitudes físicas derivam de Números Geopotenciais através da Equação (1) (GEMAEL, 2012).

$$H^F = H_P = \sum_{i=0}^j g_i \Delta h_i / g^* \quad (1)$$

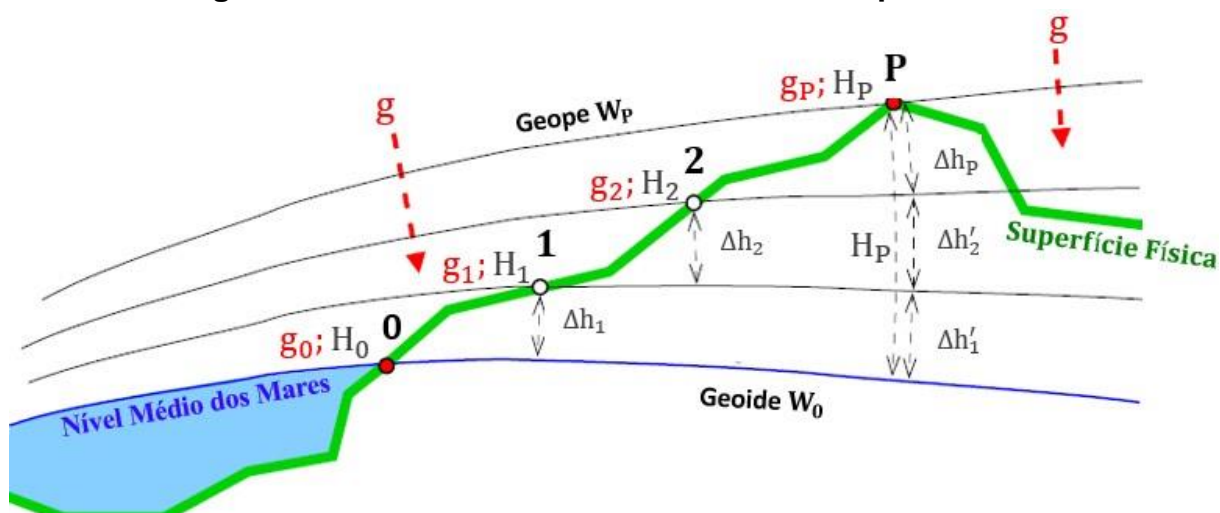
Onde: H^F - altitude física; H_P - altitude física de um ponto P; i - número da seção

nivelada; j - número de seções niveladas; $g_i \Delta h_i$ - número geopotencial do ponto P ; g_i são os valores médios da gravidade determinados em cada seção nivelada, ou seja, é a média da gravidade observada nos extremos da seção nivelada; Δh_i representa os desníveis observados; e g^* - valor de gravidade considerado.

Desta forma, as diferentes altitudes físicas de um ponto P dependem do número geopotencial do ponto P , assim como do valor de gravidade considerado, em que cada valor específico de g^* remete a uma altitude física diferente (GEMAEL, 2012).

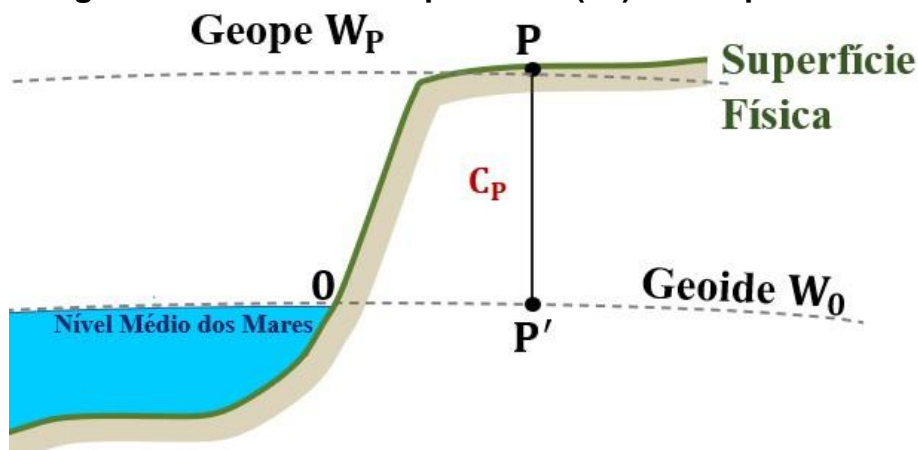
O número geopotencial de um ponto P (C_P) pertencente à superfície física da Terra é definido como a diferença entre o geopotencial W_0 no geóide e o geopotencial W_P nesse ponto (ARANA, 2009). O C_P é igual ao trabalho da gravidade para transportar a unidade de massa do geóide ao ponto, ou seja, entre as duas superfícies equipotenciais (ARANA, 2009; GEMAEL, 2012) (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1 - Altitudes Niveladas e Números Geopotenciais.



Fonte: Vermeer (2006): Adaptado pela autora (2020).

Figura 2 - O Número Geopotencial (C_P) de um ponto P .



Fonte: Vermeer (2006): Adaptado pela autora (2020).

O C_P pode ser definido pela Equação (2) (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ, 2005).

$$C_P = \int_0^P g \, dh = \sum_0^P g_i \Delta h_i = W_0 - W_P \quad (2)$$

Onde: dh - separação de duas superfícies infinitamente próximas; e g - valor de gravidade real.

Segundo Severo (2013), o uso dos números geopotenciais como definição de altitudes é pouco intuitivo, em razão do difícil entendimento prático do potencial. A transformação de números geopotenciais para medidas de altitudes requer a divisão deste por um valor específico da gravidade, o qual definirá os diferentes tipos de altitudes natural/físicas. Logo, todos os sistemas de altitudes físicas são baseados neste princípio. A demanda por uma solução unívoca para a altitude de um ponto P pode ser definida por meio de uma altitude física (H^F), Equação (3).

$$H^F = C_P / g^* \quad (3)$$

Segundo Arana (2009), o nivelamento geométrico tem sua origem nos marégrafos, que por sua vez tem origem no nível médio dos mares, que coincide aproximadamente com o geoide. Deste modo, possui origem no geoide, que tem geopotencial W_0 . O nivelamento geométrico desenvolvido acompanhado de determinações gravimétricas, possibilita a determinação do número geopotencial (C_P), onde a integral da Equação (2) é substituída por um somatório, Equação (4).

$$C_P = \sum_0^P g_i \Delta h_i \quad (4)$$

Como o geopotencial é uma grandeza que não pode ser diretamente medida, o geopotencial (W_0) é desconhecido. A Resolução N.1 da IAG de julho de 2015, para a definição e realização de um Sistema de Referência Internacional para Altitudes (IHRIS), fixou $W_0 = 62.636.853,4 \, \text{m}^2/\text{s}^2$ como realização do valor potencial do nível de referência vertical (IAG, 2015).

2.1.1 Altitude Normal ou de Molodenski

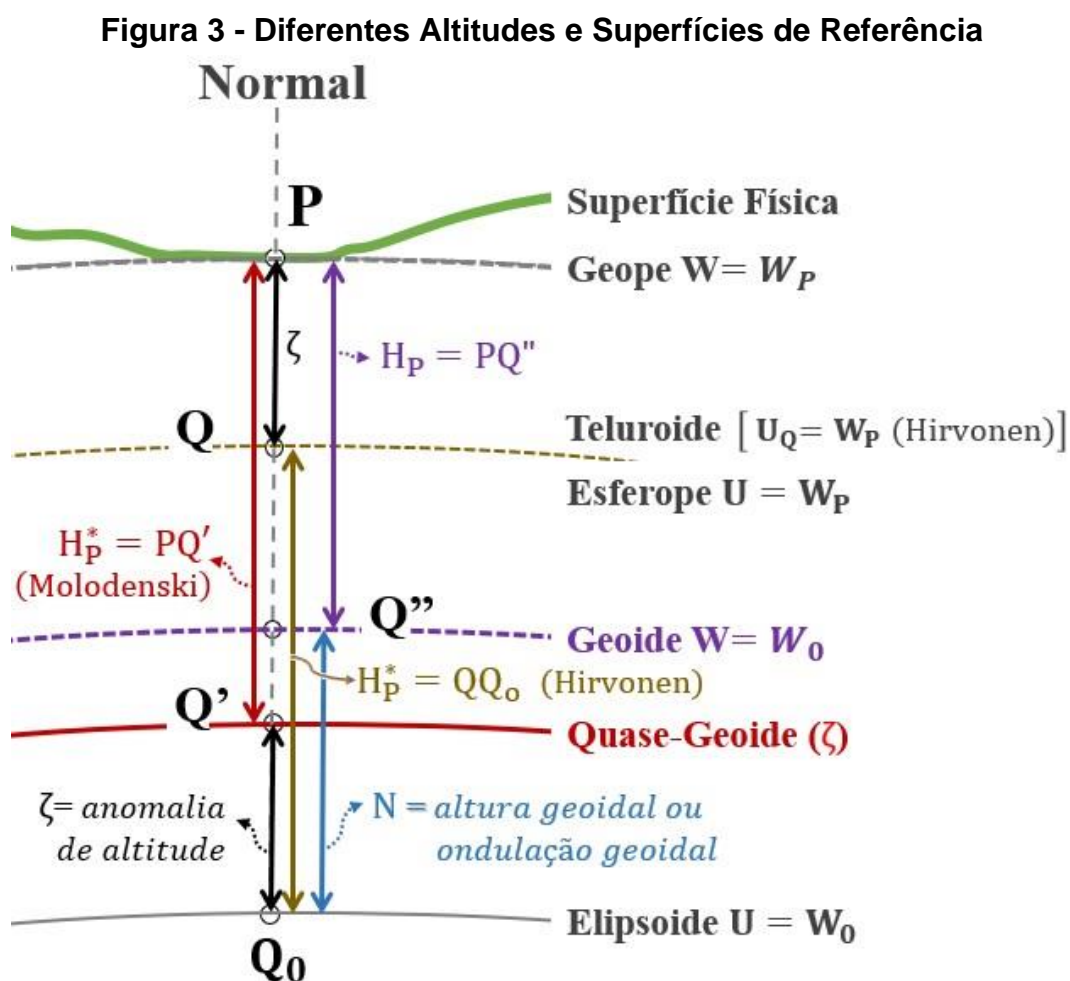
A **Altitude Normal** ou de **Molodenski** é a distância medida sobre a normal que descreve a separação entre a superfície física e o quase geoide ou entre o teluroide

e o elipsoide, Figura 3. A altitude normal foi introduzida por Molodenski em 1945, que substituiu o conceito de geóide pelo quase geóide por desconhecer um modelo de distribuição de densidade no interior da crosta terrestre. A anomalia de altitude (ζ) é a separação entre o geóide de geopotencial $W = W_P$ e o esferóide de esferopotencial $U = W_P$, sendo W_P o geopotencial do ponto P, e esta é igual a separação entre o elipsoide de referência e o quase geóide de Molodenski (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ, 2005; GEMAEL, 2012), Figura 3.

Supondo que o campo de gravidade da Terra seja normal, a altitude normal é dada pela Equação (5).

$$H^* = C_P / \bar{\gamma} \quad (5)$$

Onde: $\bar{\gamma}$ - valor médio da gravidade normal medida sobre a linha normal entre o teluroide e o elipsoide de referência.



Fonte: Gemael (2012): Adaptado pela autora (2020).

A gravidade normal média ($\bar{\gamma}$) depende da altitude normal (H^*) (HEISKANEN & MORITZ, 1967), Equação (6).

$$\bar{\gamma} = \gamma \left[1 - (1 + \alpha + m - 2 \cdot \alpha - \text{sen}^2 \varphi) \cdot \frac{H^*}{a} + \frac{H^{*2}}{a^2} \right] \quad (6)$$

A gravidade normal (γ) é calculada pela Somigliana, Equação (7).

$$\gamma = \frac{(a \cdot \gamma_e \cdot \cos^2 \varphi + b \cdot \sin^2 \varphi)}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2 \varphi + b^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (7)$$

Onde: a - semieixo maior do elipsoide; b - semieixo menor do elipsoide; m - constante física sem unidade equivalente a 0,00344978600308 (GRS80) (MORITZ, 2000); e - excentricidade; α - achatamento do elipsoide; φ - latitude; γ - gravidade normal; γ_e - gravidade normal no equador; γ_p - gravidade normal nos polos.

2.1.2 Altitude Ortométrica

A **Altitude Ortométrica** é a distância medida sobre a vertical, representando a separação entre a superfície física e o geoide, Equação (8) e Figura 4.

$$H = C_P / \bar{g} \quad (8)$$

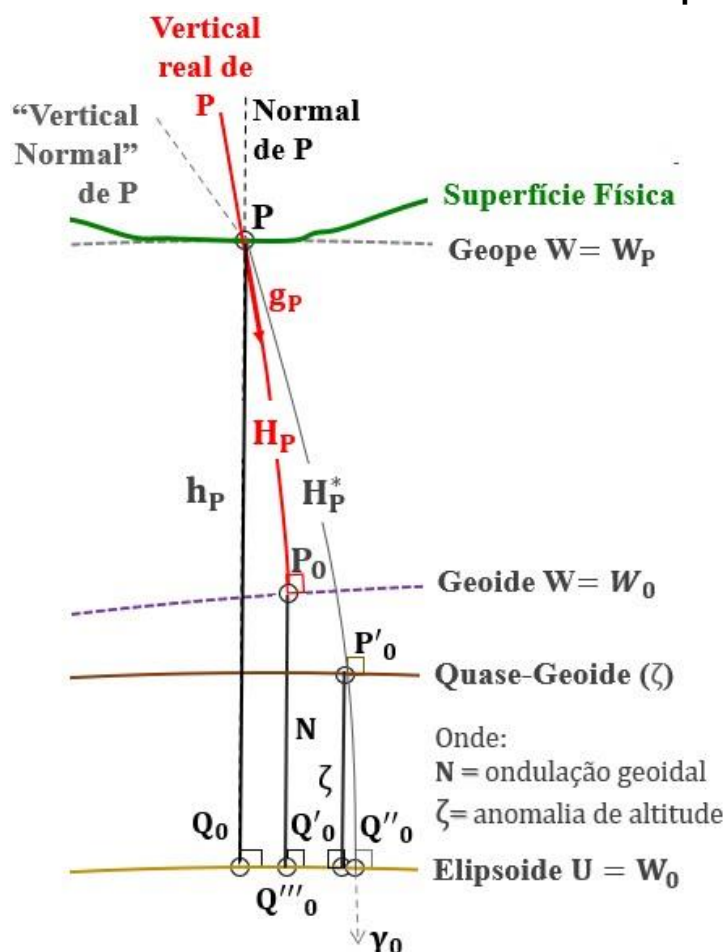
Sendo \bar{g} definida pela Equação (9) (HEISKANEN & MORITZ, 1967):

$$\bar{g} = g - \left(\frac{1}{2} \frac{\partial g}{\partial h} + 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \right) \cdot H \quad (9)$$

$$\text{onde} \quad \frac{\partial g}{\partial h} = \frac{\partial \gamma}{\partial h} + \frac{\partial \Delta g}{\partial H}$$

Onde \bar{g} - valor médio da gravidade no interior da crosta, entre o geoide e o ponto superficial P; ρ - densidade dos materiais; H - altitude ortométrica; Δg é a anomalia da gravidade; $\frac{\partial g}{\partial h}$ - gradiente linear normal [$\frac{\partial g}{\partial h} = -0,3086 \text{ mGal/m}$]; G - constante gravitacional [$G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$].

Figura 4 - Altitudes Normal e Ortométrica de um ponto P



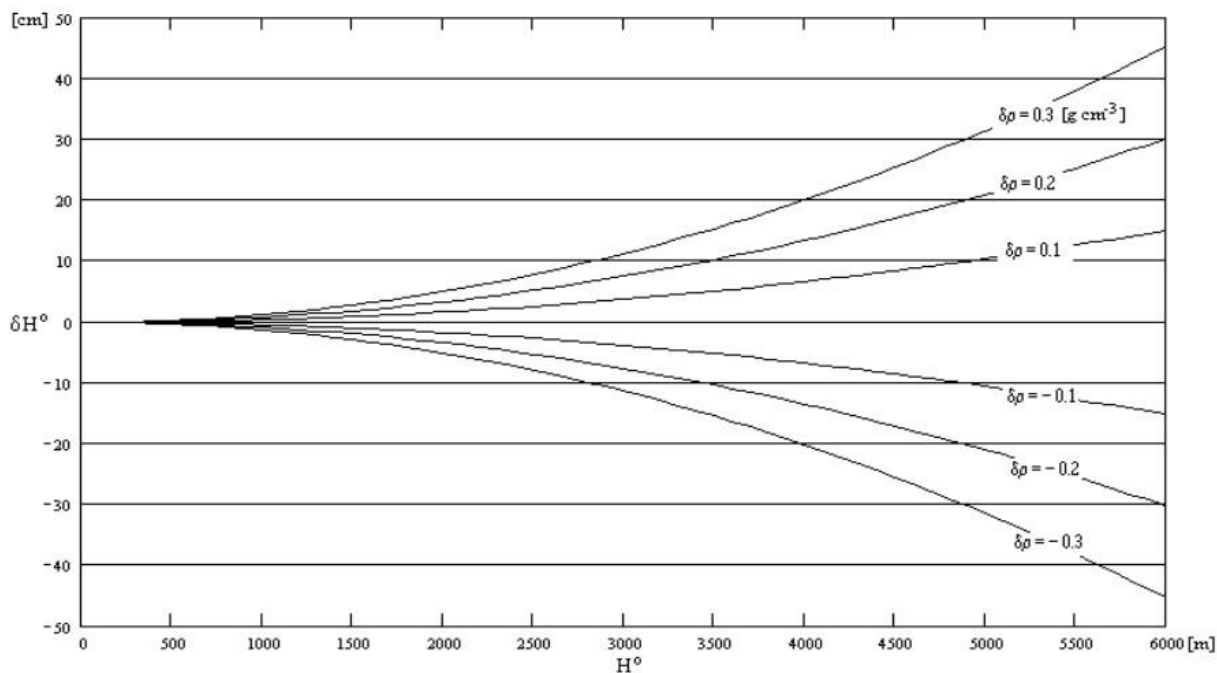
Fonte: IBGE (2021): Adaptado pela autora (2020).

Substituindo a gradiente linear normal $\left[\frac{\partial g}{\partial h} = -0,3086 \text{ mGal/m}\right]$ e a constante gravitacional $[G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2]$ na Equação (9), obtêm-se valor médio da gravidade no interior da crosta em função da densidade (\bar{g}), Equação (10):

$$\bar{g} = g - \left(-0,3086 \text{ mGal/m}/2 + 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho\right) \cdot H \quad (10)$$

Segundo Tenzer & Vaníček (2003), a densidade topográfica real varia de $\rho_{\min} = 1,0 \text{ g/cm}^3$ (água) para $\rho_{\max} = 2,98 \text{ g/cm}^3$ (gabro - Rocha ígnea plutônica, granulação grossa a média, equivalente plutônico do basalto. [WINGE, 2020]). Assim, desconsiderando os corpos d'água existentes, a variação da densidade topográfica ($\delta\rho$) está dentro do intervalo $(-0,3 \text{ g/cm}^3; +0,3 \text{ g/cm}^3)$ em torno do valor médio $\rho = 2,67 \text{ g/cm}^3$. A partir da Equação (9), pode-se estimar o efeito da variação da densidade topográfica na determinação da altitude ortométrica, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Variação da altitude ortométrica devido à variação da densidade topográfica $\delta\rho$ [cm]

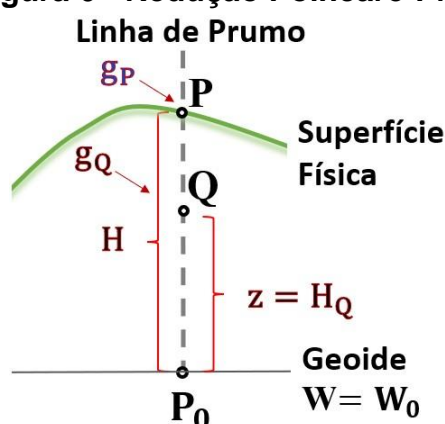


Fonte: Tenzer & Vaníček (2003).

A redução de Poincaré-Prey faz uso de simplificações com respeito às massas externas ao geóide, tais como a negligência do efeito do terreno e variações de densidade nas massas topográficas (HEISKANEN & MORITZ, 1967).

Seja P o ponto da superfície correspondente, de modo que P e Q estejam situados na mesma linha de prumo, Figura 6. A gravidade em P, denotada por g_P , é medida.

Figura 6 - Redução Poincaré-Prey



Fonte: Heiskanen & Moritz (1967): Adaptado pela autora (2020).

Segundo Heiskanen & Moritz (1967), como a gravidade dentro da terra g_Q não pode ser medida, deve ser calculada a partir da gravidade superficial, Figura 6. Isso é feito reduzindo os valores medidos da gravidade de acordo com o método de Poincaré-Prey.

A forma direta de calcular g_Q seria usar a Equação (11).

$$g_Q = g_P - \int_Q^P \frac{\partial g}{\partial h} dH \quad (11)$$

desde que o gradiente de gravidade real $\frac{\partial g}{\partial h}$ dentro da terra fosse conhecido, Equação (12).

$$\frac{\partial g}{\partial h} = \frac{\partial \gamma}{\partial h} + 4 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \quad (12)$$

Numericamente, desprezando a variação de $\frac{\partial \gamma}{\partial h}$ com a latitude, $\frac{\partial \gamma}{\partial h} \doteq -0,3086$ (mGal/m), encontramos para a densidade $\rho = 2,67$ g/cm³, a partir da Equação (12), temos a Equação (13).

$$\frac{\partial g}{\partial h} = -0,3086 + 0,2238 = -0,0848 \text{ Gal/km} \quad (13)$$

Assim temos a Equação (14).

$$g_Q = g_P + 0,0848 \text{ Gal/km} \cdot (H_P - H_Q) \quad (14)$$

O valor médio da gravidade entre um ponto P de altitude H e a superfície do geóide é dada pela Equação (15), Figura 6:

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g(z) dz \quad (15)$$

Onde $g(z)$ é o valor da gravidade até a uma distância z do geóide ao longo da vertical até o ponto de altitude H. Este valor pode ser obtido usando a redução Poincaré-Prey do valor de g observado na superfície da Terra em um ponto de altitude H, Equação (16).

$$g(z) = g + 0,0848 \text{ Gal/km} \cdot (H - z) \quad (16)$$

Então, resolvendo a Equação (15), obtêm-se o valor médio da gravidade, como demonstrado na Equação (17) (HEINKANEN & MORITZ, 1967).

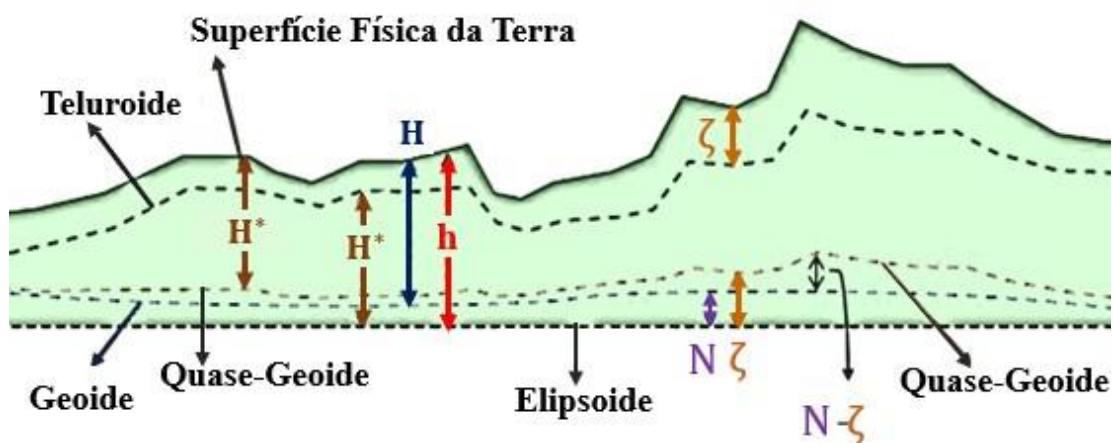
$$\begin{aligned} \bar{g} &= \frac{1}{H} \int_0^H g(z) dz = \frac{1}{H} \int_0^H [g + 0,0848 \text{ Gal/km} \cdot (H - z)] dz \\ \bar{g} &= \frac{1}{H} [gz + 0,0848 \text{ Gal/km} \cdot Hz - 0,0424 \text{ Gal/km} \cdot z^2]_0^H \\ \bar{g} &= g + \frac{0,0848 \text{ Gal/km}}{H} \cdot \left[Hz - \frac{z^2}{2} \right]_0^H \\ \bar{g} &= g/\text{Gal} + 0,0424 \text{ Gal/km} \cdot H/\text{km} \end{aligned} \quad (17)$$

2.2 Relação entre a Altitude Ortométrica e a Altitude Normal

Conforme Heiskanen & Moritz (1967), a diferença entre as altitudes ortométrica (H) e normal (H^*), é dada na Equação (18), onde H representa a altitude ortométrica, contada ao longo da linha vertical do geóide até o ponto de interesse, H^* é a altitude normal, definida como a distância medida ao longo da normal do ponto da superfície física e o quase geóide, a anomalia de altitude (ζ) é a separação entre o quase geóide e o elipsoide, e a ondulação geoidal (N) é a distância entre o elipsoide e o geóide, representados na Figura 7.

$$H - H^* = \zeta - N = \text{SGQG} \quad (18)$$

Figura 7 - Superfícies de Referência



Fonte: Sjöberg (2018): Adaptado pela autora (2019).

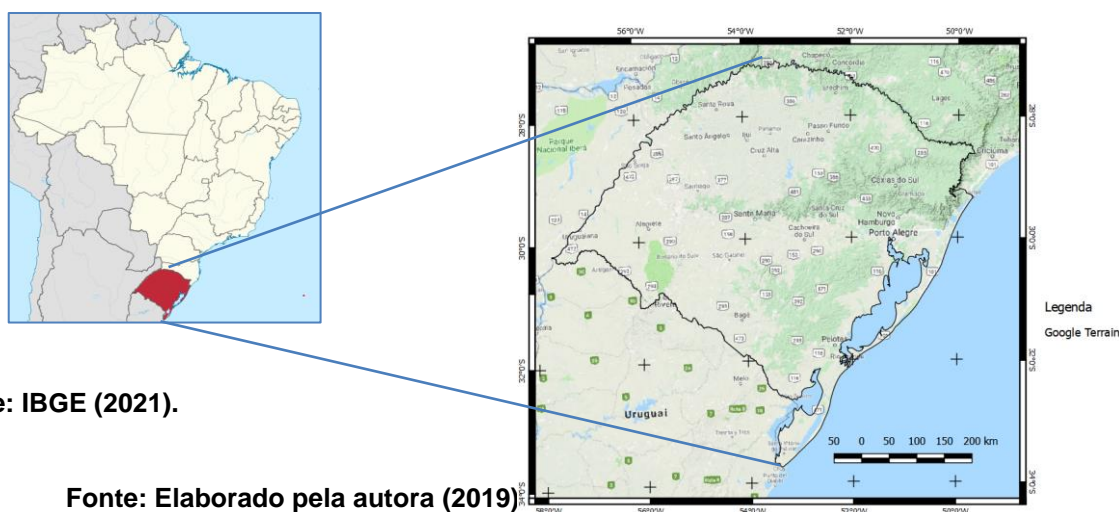
3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste Capítulo será apresentada uma breve descrição da área de estudo, bem como os dados utilizados e a metodologia adotada.

3.1 Descrição de Área de Estudo

A área de estudo é o estado do Rio Grande do Sul, por existir uma cobertura gravimétrica suficientemente densa e disponibilidade de um mapa das densidades das massas topográficas do estado. Segundo o IBGE (2021), o estado do Rio Grande do Sul (RS) possui 497 municípios e sua área total é de 281.737,888 km², está situado na região Sul e tem por limites o estado de Santa Catarina, Argentina e Uruguai além do Oceano Atlântico, Figura 8.

Figura 8 - Área de Estudo: Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE (2021).

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

3.2 Dados utilizados

3.2.1 Dados Gravimétricos e Altimétricos

De acordo com Falavigna *et al.* (2014) a malha gravimétrica do estado do RS é resultado de inúmeros levantamentos geofísicos executados por Universidades (Instituto de Geociências-IGEO/UFRGS, UFPR, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas-IAG/USP), órgãos e empresas públicas (IBGE, Petrobrás, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, ON/CNPq-Conselho Nacional de Pesquisa). Uma parte dos dados levantados por essas instituições integra o acervo de dados geofísicos do Banco Nacional de Banco de Dados Geodésicos (BDG). Para consultar a página inicial

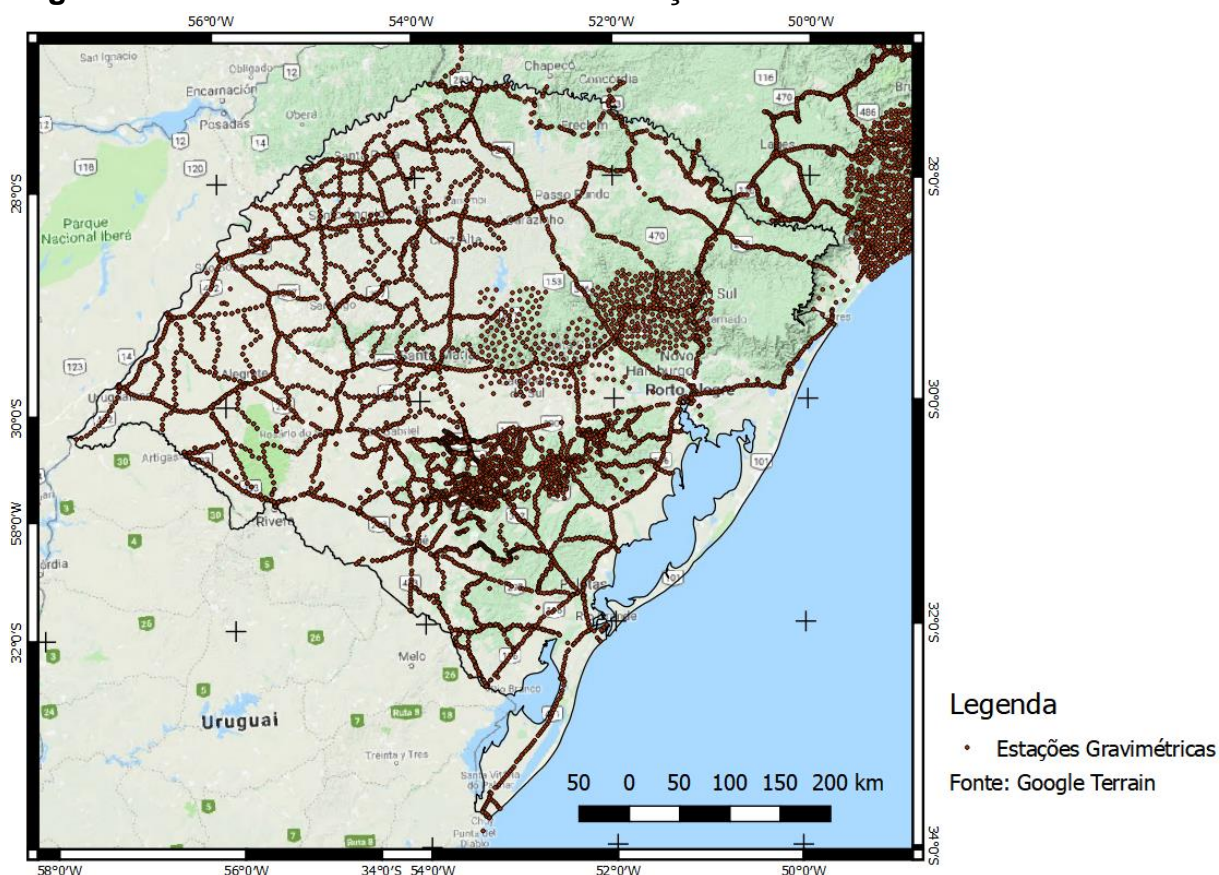
do Banco de Dados Geodésicos basta acessar o portal do IBGE. As estações contêm um conjunto de informações, entre elas estão à posição geográfica, a altitude normal, a aceleração da gravidade e o número geopotencial. O estado do Rio Grande do Sul apresenta uma boa cobertura gravimétrica nas regiões noroeste e centro-sul do estado e uma cobertura insuficiente na região nordeste. Ao banco de dados foram acrescentados os dados de gravidade obtidos pelo Laboratório de Pesquisas em Geodésia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAGEO da UFRGS), complementando o BDG do IBGE, Tabela 1. A distribuição espacial dos pontos utilizados neste estudo está representada na Figura 9.

Tabela 1 - Fonte do Banco de Dados Gravimétrico

FONTE DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS	ESTAÇÕES	
LAGEO da UFRGS	6.118	6.118 → LAGEO da UFRGS
BDG do IBGE Santa Catarina	1.972	3.912 → BDG do IBGE
BDG do IBGE Rio Grande do Sul	1.940	
TOTAL		10.030

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 9 - Rio Grande do Sul: RRNN e Estações Gravimétricas: LAGEO e IBGE



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

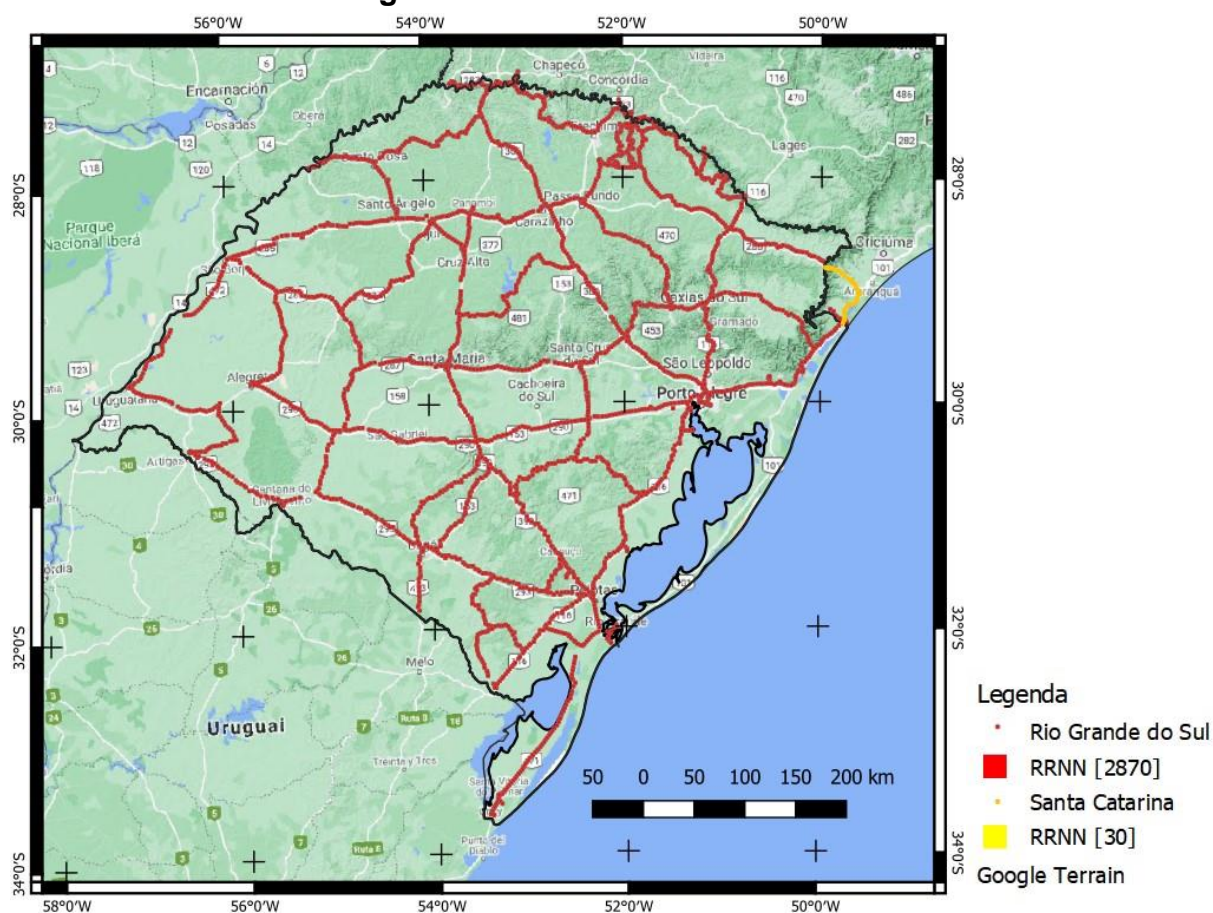
As altitudes das Referências de Nível (RRNN) dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina foram adquiridas do BDG do IBGE, Tabela 2, Figura 10.

Tabela 2 - Fonte do Banco de Dados Altimétrico

FONTE DOS DADOS ALTIMÉTRICO	ESTAÇÕES	
BDG do IBGE Rio Grande do Sul	2.945	2.870 → RS: Estações utilizadas neste trabalho.
BDG do IBGE Santa Catarina	2.058	30 → SC: Estações utilizadas para estudo de caso.
TOTAL	2.900	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 10 - RRNN do BDG do IBGE



Fonte: IBGE (2021): Elaborado pela autora (2019).

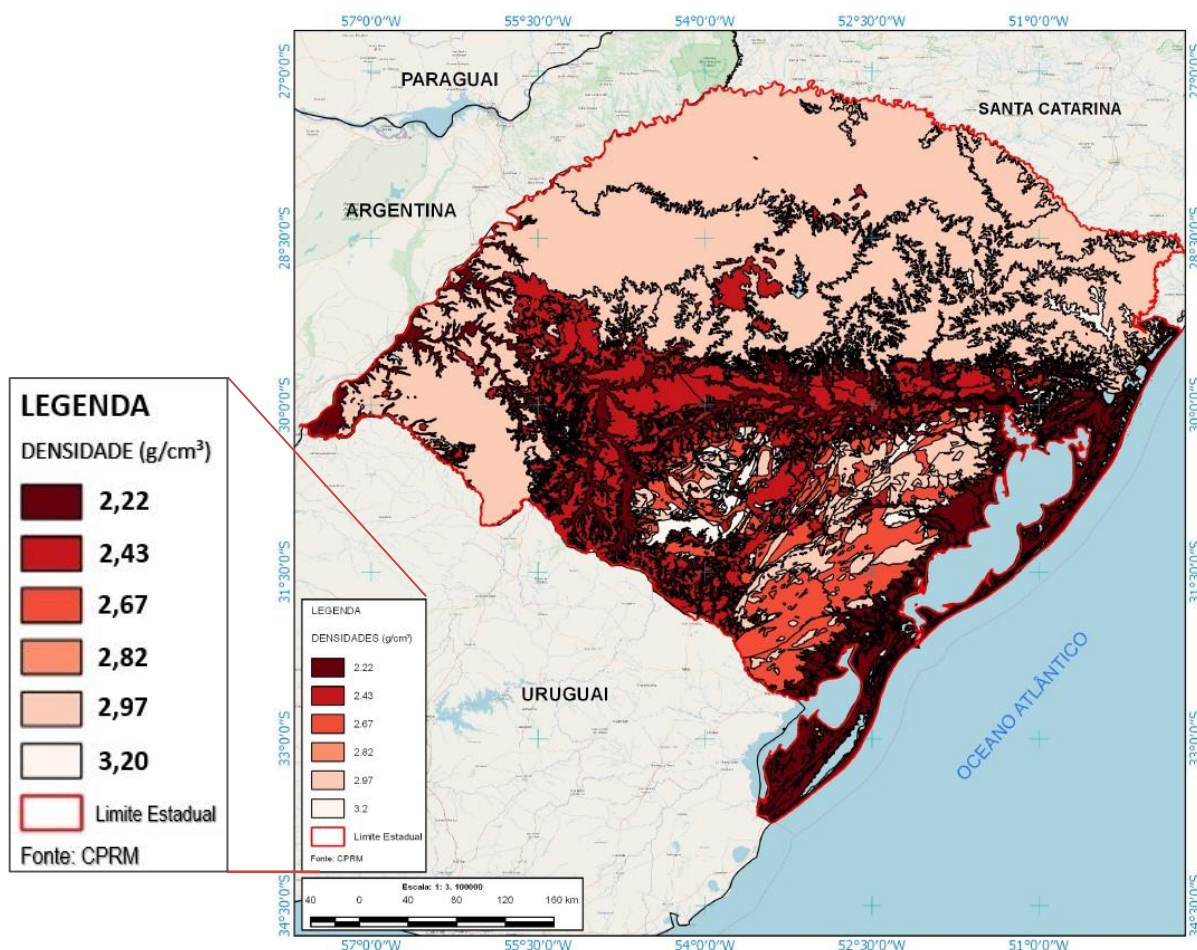
3.2.2 Mapa de Variação das Densidades Topográficas

O conhecimento da densidade no interior da crosta ainda não está ao nosso alcance. Essa impossibilidade nos obriga, na prática, a adotar medidas mais simplificadas sobre a densidade do material que compõe a litosfera, e também a utilizar das informações que são coletadas das rochas encontradas na superfície terrestre. Sendo assim, o mapa da variação da densidade topográfica do estado do Rio Grande do Sul foi obtido a partir do mapa geológico digitalizado.

O mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul foi publicado em 2006, na escala de apresentação 1:750.000, sendo um produto derivado do Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo, executado pelo Serviço Geológico do Brasil na Superintendência Regional de Porto Alegre. Na execução do Mapa Geológico foram incorporados dados e informações geradas a partir de mapeamentos e estudos geológicos regionais e aplicados, executados em diversas escalas, desde 1970, pelo Serviço Geológico do Brasil, e também referências bibliográficas de domínio público na área de geologia, desenvolvidos por instituições de ensino e pesquisa ou disponibilizados por colaboradores. A CPRM é uma empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil. Esse apresenta 64 classes litológicas classificadas com base nas rochas sedimentares, metamórficas e graníticas, e gnaiss. A estrutura geológica é uma atividade complexa que exige a compreensão de dados específicos, como seus respectivos valores. Além disso, requer a entrada de uma experiência diferente combinada com a fusão e integração de conjuntos de dados heterogêneos. Para obter o resultado desejado e a regularização dos valores dessas massas variáveis foram adotados valores médios, usando unidades geológicas existentes, através de estudos geológicos. Para a criação do mapa de variação de densidades topográficas, seguiu-se a metodologia proposta por Pagiatakis & Armenakis (1999). Nesse trabalho estão descritos os procedimentos necessários para a geração do Mapa de Densidades Topográficas a partir de um mapa geológico digitalizado, com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). As informações sobre a densidades das rochas existentes nas áreas mapeadas, foram baseadas nos estudos realizados por Seigel (1995), Sharma (1997) e Tenzer *et al.* (2011).

Na compilação do mapa de densidades utilizou-se do valor de densidade médio para cada classe litológica, sendo que sua variação, para a região de estudo, variou de 2,2 a 3,2 g/cm³, permitindo a criação de 6 (seis) classes distintas, Figura 11.

Figura 11 - Mapa de Variação das Densidades Topográficas



Fonte: LAGEO (2017).

3.2.3 Modelos do Geopotencial

Segundo Souza *et al.* (2008), o conhecimento do potencial gravitacional da Terra, em escala global e com alta resolução, é um pré-requisito fundamental para várias pesquisas nas áreas da Geodésia, Oceanografia, Geofísica, entre outras. Nos últimos anos, o contínuo refinamento da base teórica, em paralelo com o desenvolvimento dos recursos computacionais, contribuíram para o desenvolvimento de modelos harmônicos esféricos do grau 8 na década de 40 para o grau 360 no século passado, até 2190 ou maiores nos dias atuais. Dois avanços em particular merecem destaque na qualidade dos modelos geopotenciais que são o desenvolvimento de satélites artificiais e a contribuição dos satélites de radar altimétricos. Há inúmeros usos para os coeficientes dos modelos geopotenciais de alto grau, por exemplo, eles são usados para fornecer valores de referência para análises regionais e locais na determinação de geóide.

Segundo Souza *et al.* (2008), os modelos geopotenciais, conjuntos de coeficientes do potencial anômalo desenvolvido em harmônicos esféricos, são determinados pela integração de dados obtidos por uma grande variedade de instrumentos e técnicas observacionais. Os modelos digitais geopotencial integram os sistemas de referência geodésicos e são usados rotineiramente como esferoides para a representação do campo de gravidade anômalo de alta resolução. Como a distribuição geográfica dos dados gravimétricos existentes para a determinação dos coeficientes melhorou significativamente em termos globais, nesses últimos anos, devido em grande parte as missões de satélites artificiais, os modelos geopotenciais de alto grau tornaram-se mais eficientes na representação do campo de gravidade anômalo sobre toda a superfície terrestre.

Segundo Ferreira *et al.* (2010), os modelos de baixo grau são determinados, principalmente, a partir da análise de órbitas de satélites até o grau e ordem 70; nos modelos de alta resolução, combinam-se estes dados com observações terrestres de gravidade (aéreos, marinhos e continentais) e dados de altimetria por satélites (anomalias da gravidade ou altitudes geoidais).

Segundo Soares (2021), um MGG é uma aproximação matemática ao potencial gravitacional externo de um corpo atraente, e nesse caso, a Terra é o corpo que provoca a atração. O modelo constitui em um conjunto de valores numéricos, os coeficientes, para certos parâmetros, com incertezas associadas, os erros de propagação. Melo (2011) e IERS (2010), recomendam o modelo EGM2008 por apresentar as melhores estruturas de dados para a formação de um Sistema Global de Altitudes, contanto que se considere as anomalias do geopotencial associada a cada *datum* vertical e particularidades das redes de nivelamento.

Segundo Torres & Souza (2022), o Geoide proveniente do MAPGEO2015 é muito próximo ao Geoide fornecido pelo EGM2008. No estado do RS, o comportamento dos MGGs: EGM2008, XGM2019e_2159 e SGG-UGM-2 (de 2020), nas áreas onde a topografia apresenta grandes elevações, fornecem as maiores discrepâncias; o comportamento dos modelos EGM2008 e XGM2019e_2159, em altitudes elevadas o modelo XGM2019e_2159 tem valores maiores, diferentemente do que ocorre em altitudes mais próximas do NMM. Indicando a não utilização do mesmo modelo topográfico no desenvolvimento dos modelos EGM2008 e XGM2019e_2159.

Neste estudo foi utilizado o modelo geopotencial **EGM2008** (PAVLIS *et al.*, 2008; PAVLIS *et al.*, 2012), que é completo para grau e ordem harmônicos esféricos 2159 e contém coeficientes harmônicos esféricos adicionais que se estendem até o grau e ordem harmônicos esféricos 2190 e possui uma resolução espacial de aproximadamente 9 km. É um modelo do geopotencial combinado da Terra. Seus principais dados foram obtidos do satélite GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) e combinados com outros dados gravimétricos terrestres e oceânicos. Este modelo tem sido empregado como referência para a comparação de resultados associados às altitudes físicas. Para exemplificar, na Tabela 3, veem-se os coeficientes do modelo geopotencial EGM2008, desenvolvidos até o grau e ordem 4 (quatro), parte integrante da documentação do modelo do geopotencial disponível no site do ICGEM.

Tabela 3 - Coeficientes do Modelo Geopotencial EGM2008

n	m	\bar{C}_{nm}	\bar{S}_{nm}	sigma \bar{C}_{nm}	sigma \bar{S}_{nm}
0	0	1,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00
2	0	-4,8417E-04	0,0000E+00	7,4812E-12	0,0000E+00
2	1	-2,0662E-10	1,3844E-09	7,0638E-12	7,3483E-12
2	2	2,4394E-06	-1,4003E-06	7,2302E-12	7,4258E-12
3	0	9,5716E-07	0,0000E+00	5,7314E-12	0,0000E+00
3	1	2,0305E-06	2,4820E-07	5,7266E-12	5,9767E-12
3	2	9,0479E-07	-6,1901E-07	6,3748E-12	6,4018E-12
3	3	7,2132E-07	1,4143E-06	6,0291E-12	6,0283E-12
4	0	5,3997E-07	0,0000E+00	4,4311E-12	0,0000E+00
4	1	-5,3616E-07	-4,7357E-07	4,5681E-12	4,6840E-12
4	2	3,5050E-07	6,6248E-07	5,3078E-12	5,1861E-12
4	3	9,9086E-07	-2,0096E-07	5,6320E-12	5,6203E-12
4	4	-1,8852E-07	3,0880E-07	5,3729E-12	5,3832E-12

Fonte: Barthelmes & Köhler (2020): Adaptado pela autora (2020).

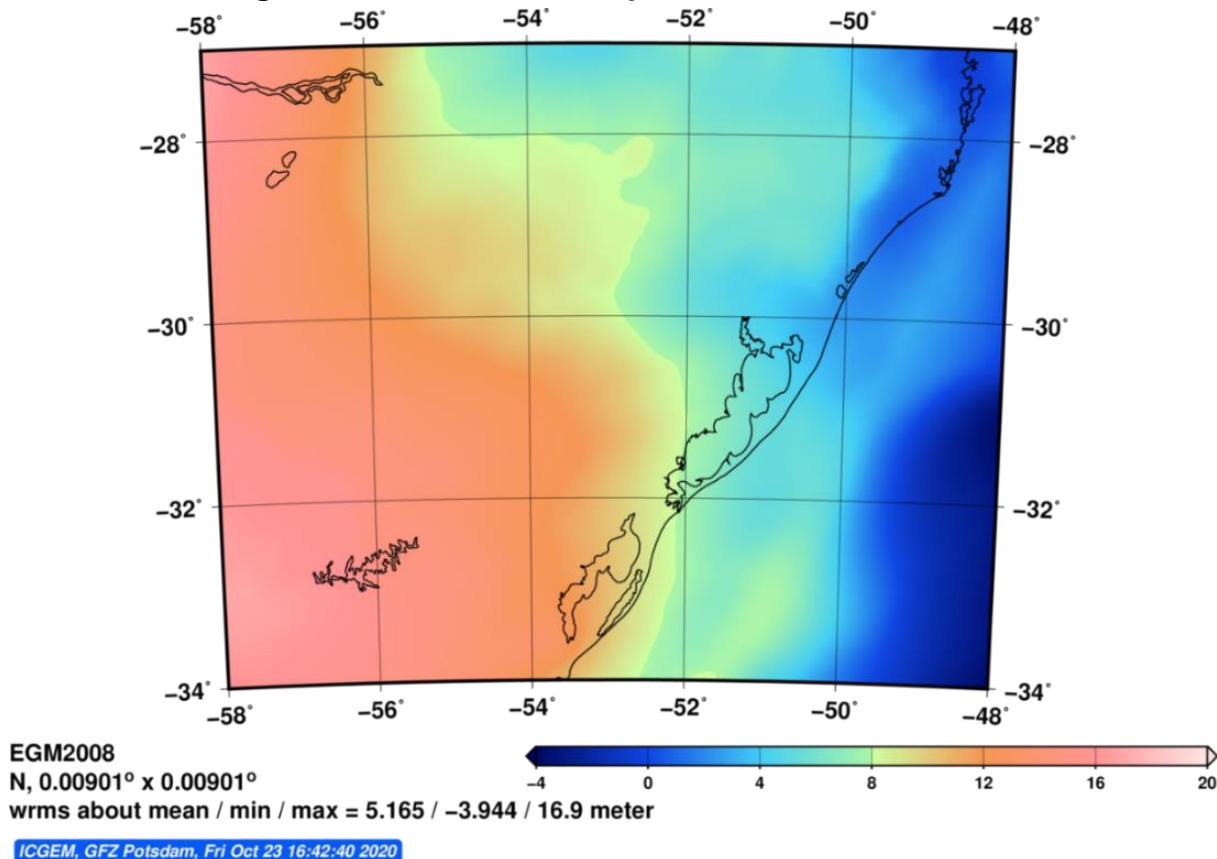
Onde: \bar{C}_{nm} e \bar{S}_{nm} - coeficientes totalmente normalizados, de grau **n** e ordem **m**.

Para a realização deste trabalho, os limites para a extração dos dados encontram-se entre as latitudes 27°S e 34°S e entre as longitudes 48°O e 58°O. Foi utilizada uma resolução de 1 km, e o elipsoide de referência foi o GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*). Estes parâmetros foram utilizados para a geração de um

grid de coordenadas com seus respectivos valores de gravidade e, também, para a anomalia da altitude do modelo EGM2008, no *site* do ICGEM (*International Center for Global Gravity Field Models*) (BARTHELMES & KÖHLER, 2020).

Para o modelo calculado no *site* do ICGEM, os dados constantes no arquivo de extensão “gdf”, aberto em um editor de textos, e transferidos para uma planilha eletrônica, onde foram eliminadas as linhas informativas iniciais, deixando apenas uma para possibilitar a identificação das três colunas contendo as informações desejadas, ou seja, “Longitude”, “Latitude” e “gravity_earth”. Realizou-se as transformações da longitude, que foi subtraída de 360°, gerado o “Grid” com as colunas “Longitude”, “Latitude” e “gravity_earth”, respectivamente em X, Y e Z, selecionando o método de interpolação vizinho natural (*Natural Neighbor*), em que a estimativa é realizada utilizando apenas as estações gravimétricas vizinhas, é método mais apropriado para a interpolação de dados de terreno (cf. Maune, 2001), com resolução de 1 km em “X” e “Y”. De onde posteriormente foram extraídas as gravidades das RRNN. Os dados obtidos do modelo do geopotencial estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Modelo do Geopotencial: 104_EGM2008



Fonte: Barthelmes & Köhler (2020): Com dados fornecidos pela autora (2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item se propõe a apresentar os principais experimentos e resultados obtidos neste estudo. Para isto os dados obtidos no BDG do IBGE foram organizados em uma planilha contendo: Identificação de Estação; Unidade Federativa (UF); Latitude (°); Longitude (°); Número Geopotencial (m^2/s^2); Altitude Normal (m); e, para realização de alguns estudos, a Altitude Ortométrica (m) que foi adquirida antes de 30 de julho de 2018; a Densidade dos Materiais (kg/m^3) disponibilizada pelo LAGEO da UFRGS em cada RN; a Gravidade Estimada (mGal) em cada Referência de Nível (RN), obtida através da interpolação dos dados gravimétricos do BDG do IBGE somados aos fornecidos pelo LAGEO da UFRGS; as Anomalias de Altitude (m) e Anomalias do Geoide (m) em cada RN, foram obtidas a partir do modelo global EGM2008, para o grau e ordem 2160. Os limites para a extração da área de estudo estão entre as latitudes 27°S e 34°S e longitudes 48°O e 58°O, e resolução espacial de 1km, como elipsoide de referência foi adotado o GRS80 (MORITZ, 1980) (Anexo A), como pode ser observado na Tabela 4. Para a determinação da altitude ortométrica foram utilizados o software MatLab (Anexo B), onde foram desenvolvidas as expressões matemáticas utilizadas neste estudo, a planilha Excel para entrada dos dados e, após o processamento no MatLab, armazenamento dos resultados para análise.

Tabela 4 - Modelo: Organização do Arquivo de Entrada de Dados

Estação	UF	Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Número Geopotencial (m^2/s^2)	Altitude Normal [IBGE] (m)	Gravidade Medida [Interpolação] (mGal)	Densidade (kg/m^3)	Anomalia da Altitude [EGM2008 GRS80] (m)	Ondulação Geoidal [EGM2008 GRS80] (m)	Gravidade Reconstituída: EGM2008 GRS80 (mGal)
12Q	RS	Torres	-29,21666667	-49,90000000	241,551	24,6667	979201,0875	3200	2,563951506	2,556804767	979178,517
12R	RS	Torres	-29,23333333	-49,86666667	129,811	13,256	979205,9938	2220	2,30909076	2,305721115	979199,6857
12S	RS	Torres	-29,27166667	-49,84888889	70,91	7,2411	979211,3131	2220	2,180197724	2,17763152	979210,9516
12T	RS	Torres	-29,28333333	-49,83333333	28,285	2,8884	979213,2025	2220	2,080740739	2,079151802	979216,1576
12U	RS	Torres	-29,30000000	-49,80000000	122,703	12,5301	979216,2494	2000	1,924652138	1,924100695	979220,882
12V	RS	Torres	-29,30000000	-49,75000000	17,051	1,7412	979218,7697	2220	1,762369491	1,761976495	979221,2153
12X	RS	Torres	-29,33333333	-49,73333333	176,969	18,0715	979225,7269	2220	1,724621022	1,724296414	979225,6785
1410A	RS	Esmeralda	-28,01305556	-51,23611111	9038,375	923,1967	978910,3104	2970	6,337669485	6,271159396	978922,7087
1410B	RS	Esmeralda	-28,00777778	-51,22500000	9261,987	946,0407	978910,9692	2970	6,327499057	6,261040011	978921,2473
1410C	RS	Esmeralda	-27,99000000	-51,22194444	9293,726	949,2844	978909,9716	2970	6,297231265	6,230278073	978917,7024
1410D	RS	Esmeralda	-27,97750000	-51,20611111	9142,665	933,8532	978910,5632	2970	6,26800563	6,201491595	978915,1296

.....

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

4.1 EFEITO DA GRAVIDADE RECONSTITUÍDA NA DETERMINAÇÃO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA

Através dos dados de gravidade obtidos no Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE e do LAGEO da UFRGS (2017), foi gerado um modelo gravimétrico digital, com a finalidade de obter as gravidades das RRNN que não possuíam valor de gravidade medido. Verificando a diferença entre as gravidades medida e reconstituída das 2900 estações do estado do Rio Grande do Sul consideradas, obteve-se a Tabela 5, incluindo os valores estatístico de densidade (Figura 11).

Tabela 5 - Estatística: Gravidade Medida, Gravidade Reconstituída, Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (EGM2008) (mGal) e Densidade das Massas Topográficas (g/cm^3) (2900 RRNN)

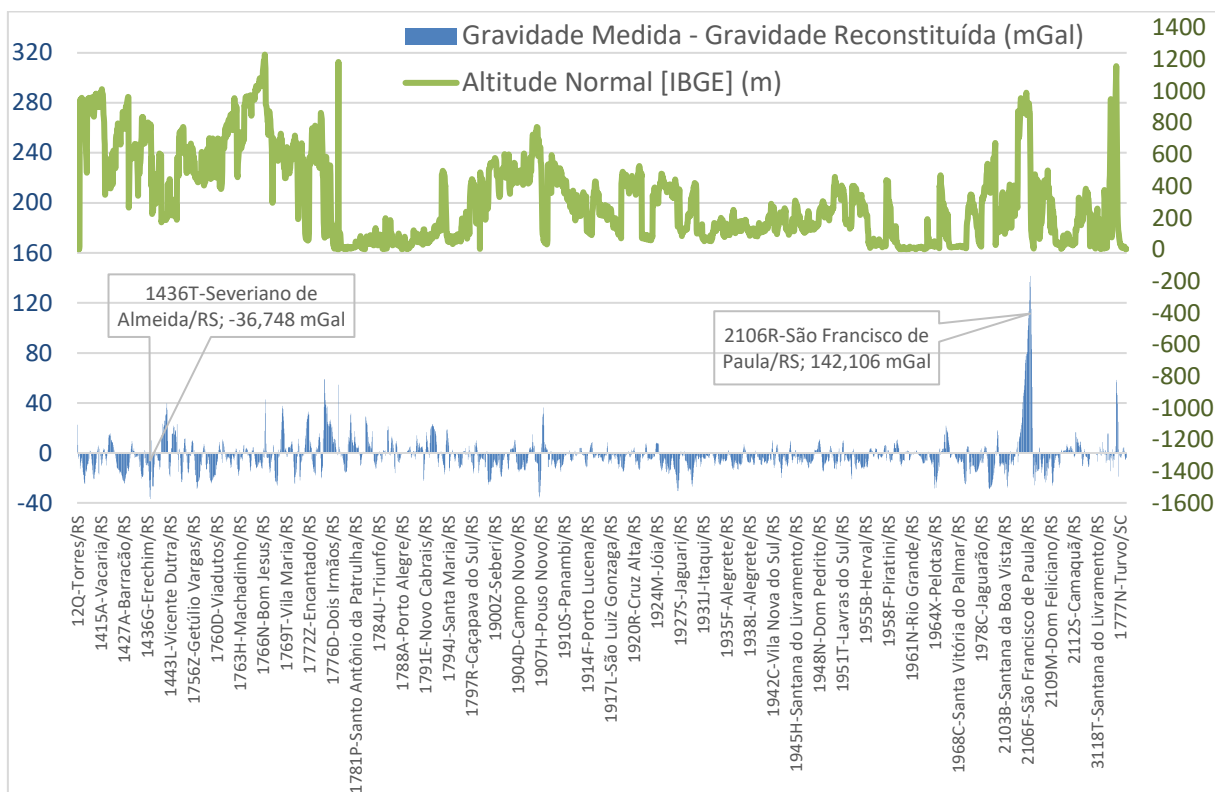
	Gravidade Medida (mGal)	Gravidade Reconstituída (EGM2008) (mGal)	Gravidade Medida – Gravidade Reconstituída (EGM2008) (mGal)	Densidade (g/cm^3)
Menor	978.903,8881	978.913,0376	-36,7484	2,0000
Maior	979.652,8049	979.665,8620	142,1064	3,2000
Média	978.198,5501	979.200,6378	-2,0877	2,7512
Desvio	175,1399	175,3066	13,8841	0,3079

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 5, verifica-se uma variação de 142,1064 mGal entre as gravidades medida e reconstituída, variação que pode ser vista na Figura 16.

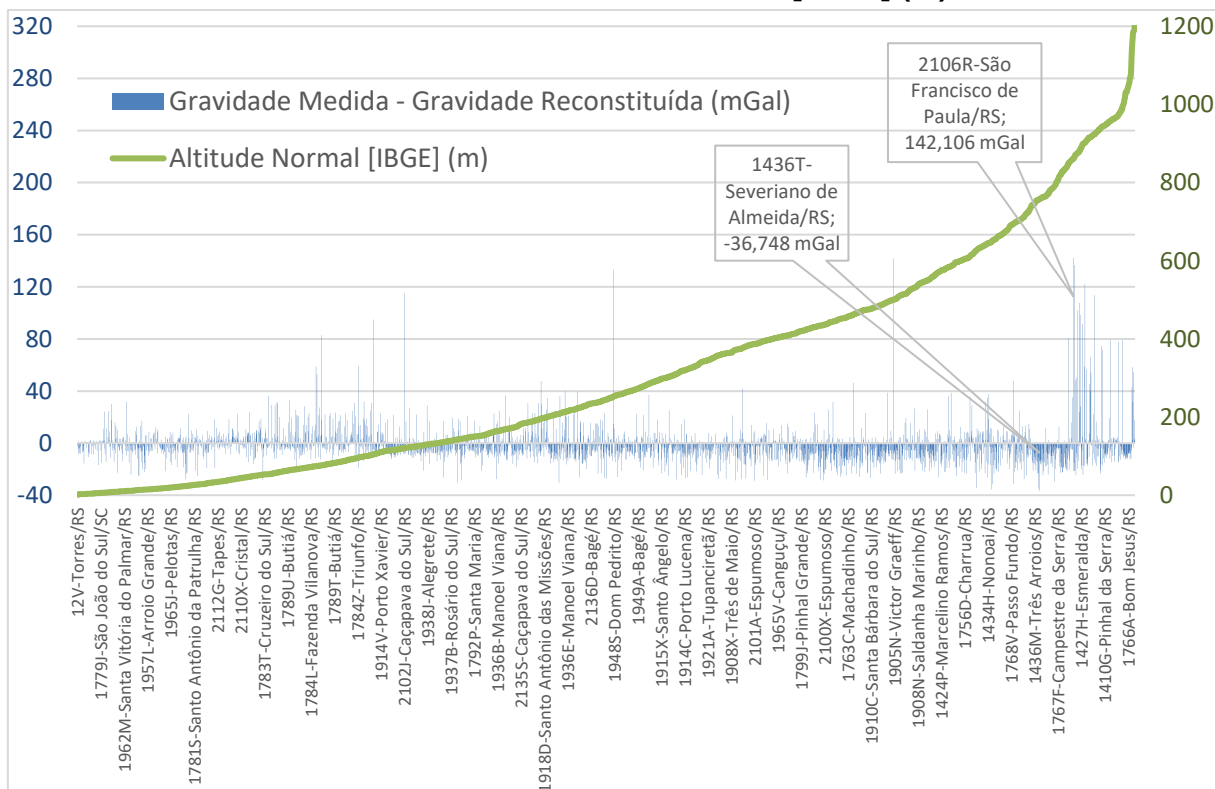
Na Figura 13, diferença entre gravidade medida e reconstituída ordenada pela numeração da estação, observa-se que as maiores diferenças ocorrem no município de São Francisco de Paula/RS, e áreas adjacentes, onde a altitude normal decresce abruptamente. Na Figura 14, ordenada pelo valor da altitude normal, observa-se que as maiores diferenças entre gravidade medida e reconstituída se concentram em locais de altitude elevada. Na Figura 13 e Figura 14, estão identificadas as RRNN de maior e de menor diferença entre gravidade medida e reconstituída, conforme Tabela 5.

Figura 13 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal)
 → Ordenamento: RRNN



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

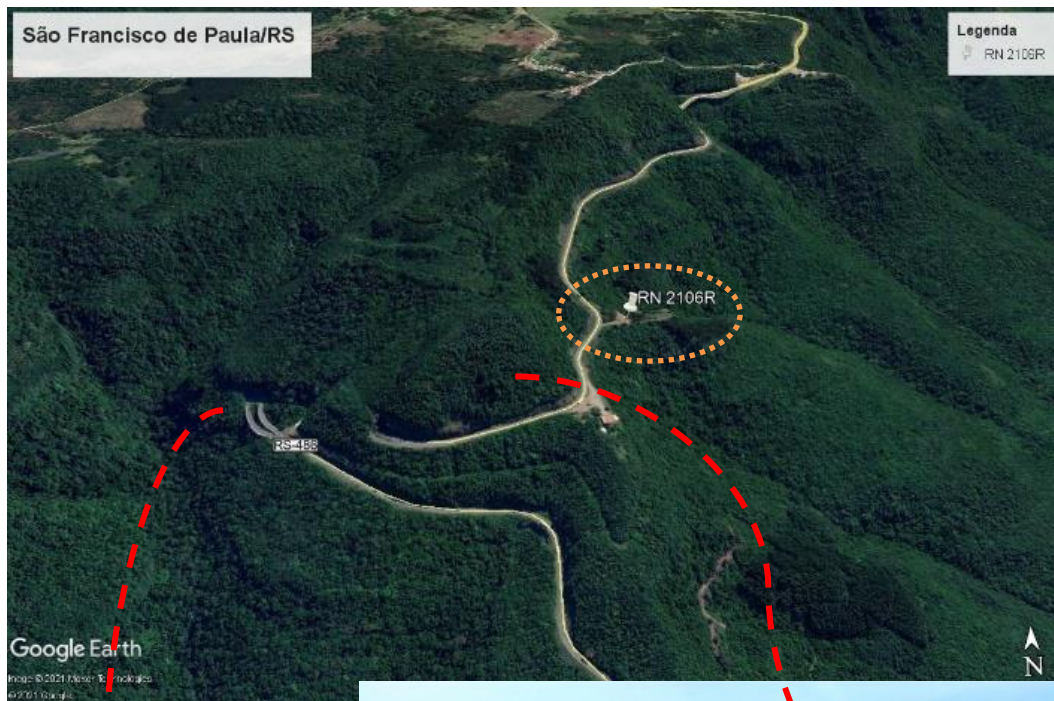
Figura 14 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal)
 → Ordenamento: Altitude Normal [IBGE] (m)



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

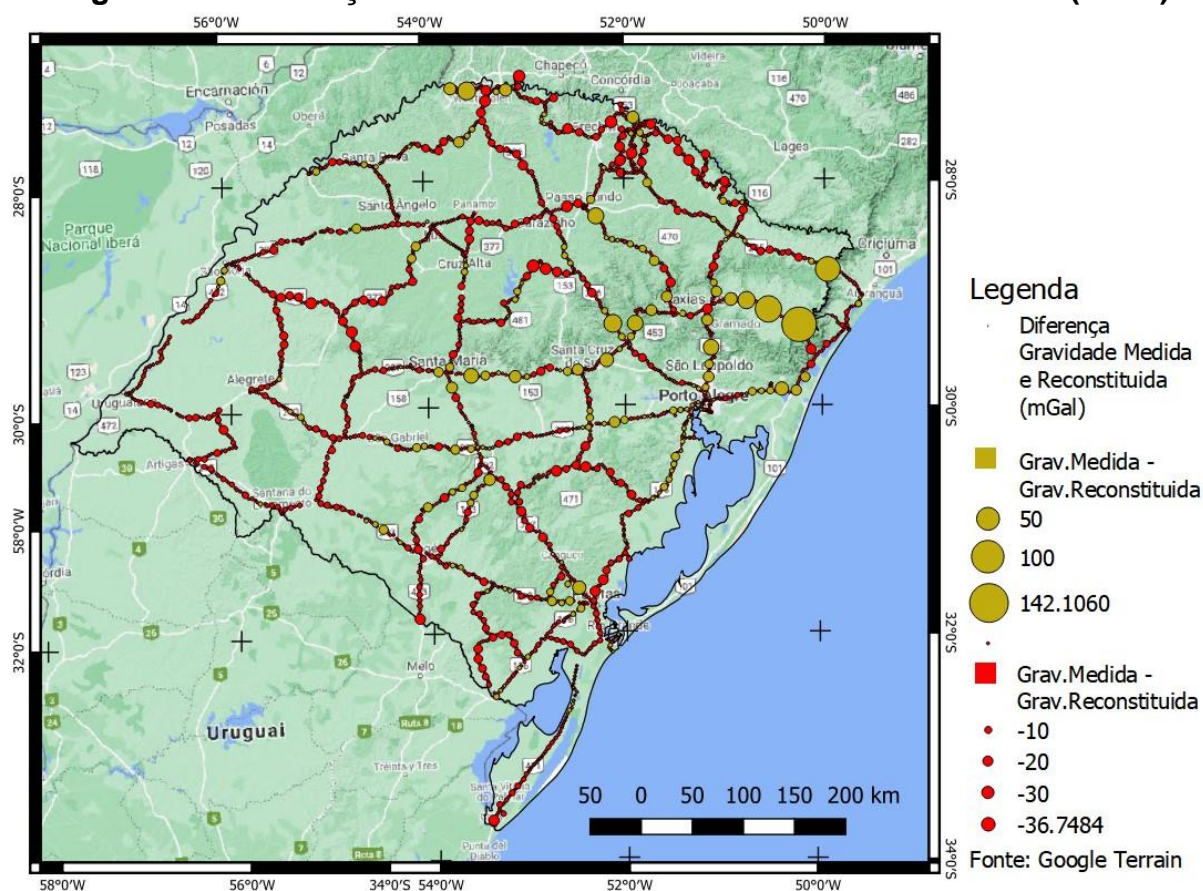
Na Figura 15, é apresentada a posição da RN 2106R em São Francisco de Paula (RS) com coordenadas latitude $29^{\circ}21'56''S$ e longitude $50^{\circ}10'48''O$, altitude normal de 861,6422 m e densidade topográfica de $2,97 \text{ g/cm}^3$.

Figura 15 - RN 2106R-São Francisco de Paula/RS



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 16 - Diferença entre as Gravidades Medida e Reconstituída (mGal)



Fonte: IBGE (2021); Elaborado pela autora (2020).

Para analisar a influência da gravidade no resultado da altitude ortométrica, foram consideradas, além das densidades constante e variável, a gravidade medida e reconstituída (EGM2008). Desta forma, obteve-se a Tabela 6, em que contempla os resultados estatísticos das 2900 RRNN para as diferenças entre as altitudes ortométricas. Onde: [D.Var] – Densidade Variável; e [D.Cte] – Densidade Constante.

Tabela 6 - Estatística das Altitudes Ortométricas: Análise da influência da Gravidade Medida e da Gravidade Reconstituída (2900 RRNN)

	H [D.Var] - H [D.Cte] (cm) [Grav. Medida]	H [D.Var] - H [D.Cte] (cm) [Grav. EGM2008]	Diferença H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Diferença H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Gravidade Medida - Gravidade EGM2008 (mGal)
Menor	-1,3672	-1,3675	-12,5047	-12,5051	-36,7484
Maior	2,2314	2,2319	2,8432	2,8433	142,1064
Média	0,2064	0,2064	0,0827	0,0827	-2,0877
Desvio	0,3483	0,3483	0,8879	0,8879	13,8841

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os efeitos da variação da densidade na determinação da altitude ortométrica foram de 2,2 cm, independentemente do valor da gravidade, medida ou reconstituída. Entretanto, quando analisamos o efeito da gravidade na determinação da altitude ortométrica, foi de 12,5 cm, independentemente do valor da densidade, constante ou variável.

Na Tabela 7 são identificadas as RRNN onde se verificam os valores máximos e mínimos das diferenças das altitudes ortométricas obtidas com gravidade medida e reconstituída, constatando que as maiores diferenças são observadas nos locais de maior elevação, ou seja, no nordeste do estado do Rio Grande do Sul.

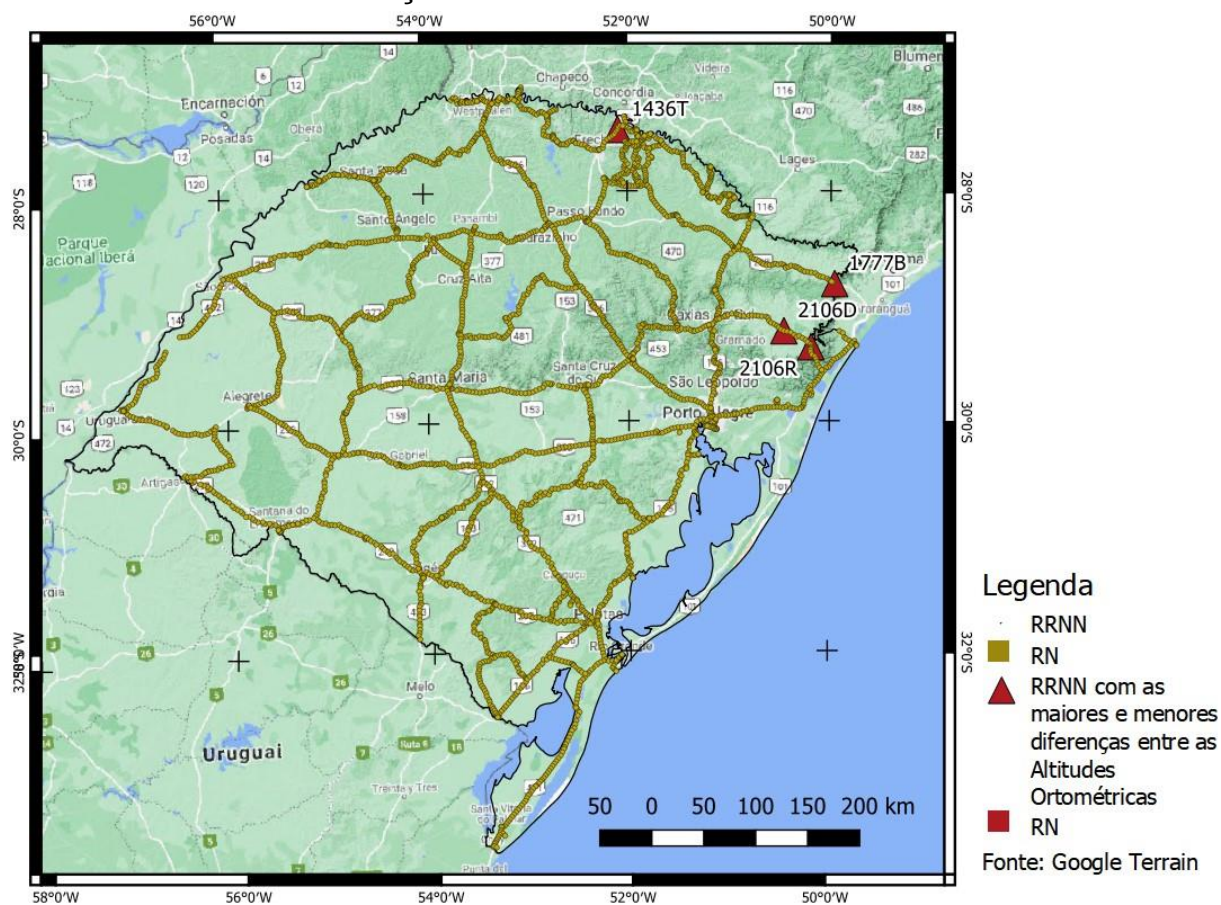
Tabela 7 - Valores máximos e mínimos: Diferença de Altitudes Ortométricas: [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (2900 RRNN)

RN-Município/UF	H* [IBGE] (m)	H [D.Var] – H [D.Cte] [Grav. Medida] (cm)	H [D.Var] – H [D.Cte] [Grav. EGM2008] (cm)	Dif. H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Dif. H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Grav. Medida – Grav. EGM2008 (mGal)
1436T-Severiano de Almeida/RS	757,4233	0,7411	0,7410	2,8432	2,8433	-36,7484
2106D-São Francisco de Paula/RS	990,0856	2,2314	2,2319	-7,9963	-7,9968	79,0804
2106R-São Francisco de Paula/RS	861,6422	0,9586	0,9590	-12,5047	-12,5051	142,1064
1777B-Timbé do Sul/SC	1157,0882	-1,3672	-1,3675	-6,8921	-6,8919	58,3183

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Figura 17 observa-se a localização geográfica das RRNN identificadas na Tabela 7: 1436T em Severiano de Almeida (RS), 2106D e 2106R em São Francisco de Paula (RS), e 1777B em Timbé do Sul/SC.

Figura 17 - Localização geográfica das 2900 RRNN e das maiores e menores diferenças entre as Altitudes Ortométricas



Fonte: IBGE (2021): Elaborado pela autora (2020).

De acordo com a Tabela 6, observa-se que as altitudes ortométricas calculadas com gravidade medida e depois com gravidade reconstituída, analisando os valores extremos, em algumas RRNN apresentam uma defasagem de até 12,5 cm, sendo que a maior diferença entre as altitudes ortométrica e normal é de até 2,2 cm. Este resultado motivou a realização de uma análise estatística das RRNN consideradas neste estudo; avaliar se são valores atípicos e onde estão localizadas estas RRNN.

Usando a tabela da distribuição normal e grau de concentração em torno da média (μ) de 99,7% no intervalo de $(\mu - 3\sigma)$ a $(\mu + 3\sigma)$, onde σ é o desvio padrão. Para a diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída na Tabela 6, $\mu = -2,0877$ mGal e $\sigma = 13,8841$ mGal. Logo: $(\mu - 3 \cdot \sigma) = -2,0877 - 3 \cdot 13,8841 = -43,7400 \approx -44$ mGal, e $(\mu + 3 \cdot \sigma) = -2,0877 + 3 \cdot 13,8841 = 39,5646 \approx 40$ mGal. Considerando a diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída menores que -44 mGal e maiores que 40 mGal, verifica-se que 37 RRNN atendem a este quesito. Ao remover estas 37 RRNN, o efeito da gravidade na determinação da

altitude ortométrica diminui para um valor em torno de 3,8 cm, Tabela 8, ao invés de 12,5 cm, Tabela 6, e na Figura 18 observa-se a localização geográfica das RRNN constantes da Tabela 9.

Tabela 8 - Estatística das Altitudes Ortométricas: Análise da influência da Gravidade Medida e da Gravidade Reconstituída (2863 RRNN)

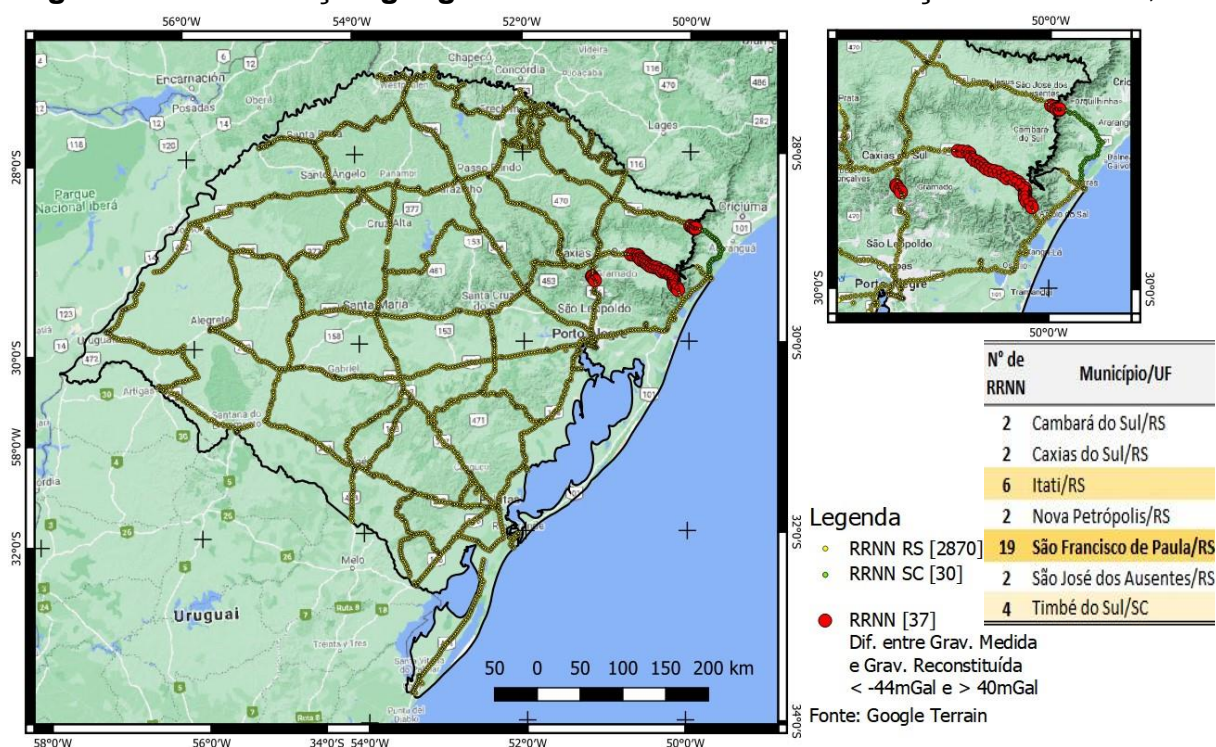
	H [D.Var] – H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida]	H [D.Var] – H [D.Cte] (cm): [Grav. EGM2008]	Diferença H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Diferença H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Grav. Medida – Grav. EGM2008 (mGal)
Menor	-0,5976	-0,5976	-3,8480	-3,8481	-36,7484
Maior	2,0786	2,0787	2,8432	2,8433	39,8180
Média	0,1992	0,1992	0,1563	0,1563	-3,1191
Desvio	0,3296	0,3296	0,4732	0,4732	9,9852

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 9 foram identificadas as 37 RRNN que foram consideradas pontos discrepantes, constatando que são observadas em locais de altitude elevada, nordeste do estado do RS, com exceção das RRNN localizadas em Caxias do Sul (RS), Nova Petrópolis (RS), Itati (RS) e parte das RRNN de Timbé do Sul/SC.

Na Figura 18 verifica-se a localização geográfica das RRNN constantes da Tabela 9, que apresentaram diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída menores que -44 mGal e maiores que 40 mGal.

Figura 18 - Localização geográfica das 37 RRNN – Distribuição Normal: 99,7%



Fonte: IBGE (2021): Elaborado pela autora (2020).

**Tabela 9 - Diferença de Altitudes Ortométricas:
[Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (37 RRNN)**

RN-Município/UF	H* [IBGE] (m)	H [D.Var]	H [D.Var]	Dif.	Dif.	Grav. Medida - Grav. EGM2008 (mGal)
		- H [D.Cte] [Grav. Medida] (cm)	- H [D.Cte] [Grav. EGM2008] (cm)	H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	
1766Z-São José dos Ausentes/RS	1.143,8648	1,6900	1,6902	-5,0099	-5,0101	42,8795
1775B-Caxias do Sul/RS	96,1569	-0,0094	-0,0094	-0,5813	-0,5813	59,1921
1775C-Caxias do Sul/RS	74,4558	-0,0057	-0,0057	-0,4466	-0,4466	58,7318
1775D-Nova Petrópolis/RS	196,2458	0,0497	0,0497	-0,9597	-0,9597	47,8820
1775E-Nova Petrópolis/RS	376,1138	0,1827	0,1827	-1,6213	-1,6214	42,2078
1777A-São José dos Ausentes/RS	1.184,6490	1,8126	1,8129	-6,5995	-6,5998	54,5416
1777B-Timbé do Sul/SC	1.157,0882	-1,3672	-1,3675	-6,8921	-6,8919	58,3183
1777C-Timbé do Sul/SC	907,0430	-0,8403	-0,8404	-5,2456	-5,2454	56,6180
1777D-Timbé do Sul/SC	693,9473	-0,9250	-0,9251	-3,3945	-3,3943	47,8882
1777E-Timbé do Sul/SC	462,6552	-0,4112	-0,4113	-2,1892	-2,1892	46,3224
2105R-São Francisco de Paula/RS	916,3038	1,9116	1,9118	-3,7925	-3,7928	40,5232
2105S-São Francisco de Paula/RS	915,8225	1,9096	1,9098	-4,2717	-4,2719	45,6666
2105T-São Francisco de Paula/RS	870,7283	0,9792	0,9794	-4,2846	-4,2847	48,1768
2105U-São Francisco de Paula/RS	872,3145	0,9828	0,9829	-4,4893	-4,4894	50,3864
2105V-São Francisco de Paula/RS	916,3637	1,0845	1,0847	-5,0672	-5,0674	54,1411
2105X-São Francisco de Paula/RS	900,9218	1,0483	1,0484	-5,4208	-5,4210	58,9121
2105Z-São Francisco de Paula/RS	915,9173	1,0834	1,0836	-6,1609	-6,1611	65,8587
2106A-São Francisco de Paula/RS	942,2679	2,0212	2,0217	-6,9178	-6,9182	71,8833
2106B-São Francisco de Paula/RS	941,8844	2,0195	2,0200	-7,1753	-7,1757	74,5895
2106C-São Francisco de Paula/RS	970,9046	2,1458	2,1463	-7,6985	-7,6990	77,6379
2106D-São Francisco de Paula/RS	990,0856	2,2314	2,2319	-7,9963	-7,9968	79,0804
2106E-São Francisco de Paula/RS	956,5774	1,1816	1,1819	-7,7342	-7,7345	79,1679
2106F-São Francisco de Paula/RS	848,6382	0,9300	0,9303	-6,9989	-6,9992	80,7522
2106G-São Francisco de Paula/RS	896,4630	1,0378	1,0380	-8,3749	-8,3752	91,4750
2106H-São Francisco de Paula/RS	884,1105	1,0093	1,0096	-8,8871	-8,8874	98,4263
2106J-Cambará do Sul/RS	876,6833	0,9924	0,9928	-9,1204	-9,1207	101,8647
2106L-Cambará do Sul/RS	877,8109	0,9950	0,9953	-9,6591	-9,6595	107,7450
2106M-São Francisco de Paula/RS	923,0891	1,1002	1,1006	-10,6999	-10,7002	113,5022
2106N-São Francisco de Paula/RS	901,6531	1,0497	1,0501	-11,2468	-11,2472	122,1403
2106P-São Francisco de Paula/RS	862,6905	0,9609	0,9613	-12,0395	-12,0399	136,6537
2106R-São Francisco de Paula/RS	861,6422	0,9586	0,9590	-12,5047	-12,5051	142,1064
2106T-Itati/RS	500,2706	0,3232	0,3233	-7,2337	-7,2338	141,5737
2106U-Itati/RS	252,0621	0,0821	0,0821	-3,4224	-3,4224	132,9296
2106V-Itati/RS	121,0594	0,0189	0,0189	-1,4245	-1,4245	115,2036
2106X-Itati/RS	104,4570	-0,0210	-0,0210	-1,0119	-1,0119	94,8437
2106Z-Itati/RS	76,4513	-0,0112	-0,0112	-0,6468	-0,6468	82,8380
2107A-Itati/RS	74,5837	-0,0107	-0,0107	-0,4027	-0,4027	52,8631

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ressalta-se que das 37 RRNN listadas na Tabela 9, nenhuma diferença entre gravidade medida e gravidade reconstituída foi menor do que -44 mGal, visto que o menor valor é de $-36,7484$ mGal, conforme Tabela 8.

Novamente, usando a tabela da distribuição normal e grau de concentração em torno da μ de 95% no intervalo de $(\mu - 2\sigma)$ a $(\mu + 2\sigma)$. Para a diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída na Tabela 6, $\mu = -2,0877$ mGal e $\sigma = 13,8841$ mGal. Logo: $(\mu - 2 \cdot \sigma) = -2,0877 - 2 \cdot 13,8841 = -29,8559 \approx -30$ mGal, e $(\mu + 2 \cdot \sigma) = -2,0877 + 2 \cdot 13,8841 = 25,5646 \approx 26$ mGal. Com diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída menores que -30 mGal e maiores que 26 mGal constata-se que 82 RRNN atendem a este quesito. Ao remover estas 82 RRNN, o efeito da gravidade na determinação da altitude ortométrica diminui para um valor em torno de 2,4 cm, Tabela 10, e na Figura 19 verifica-se a localização geográfica das RRNN constantes da Tabela 11.

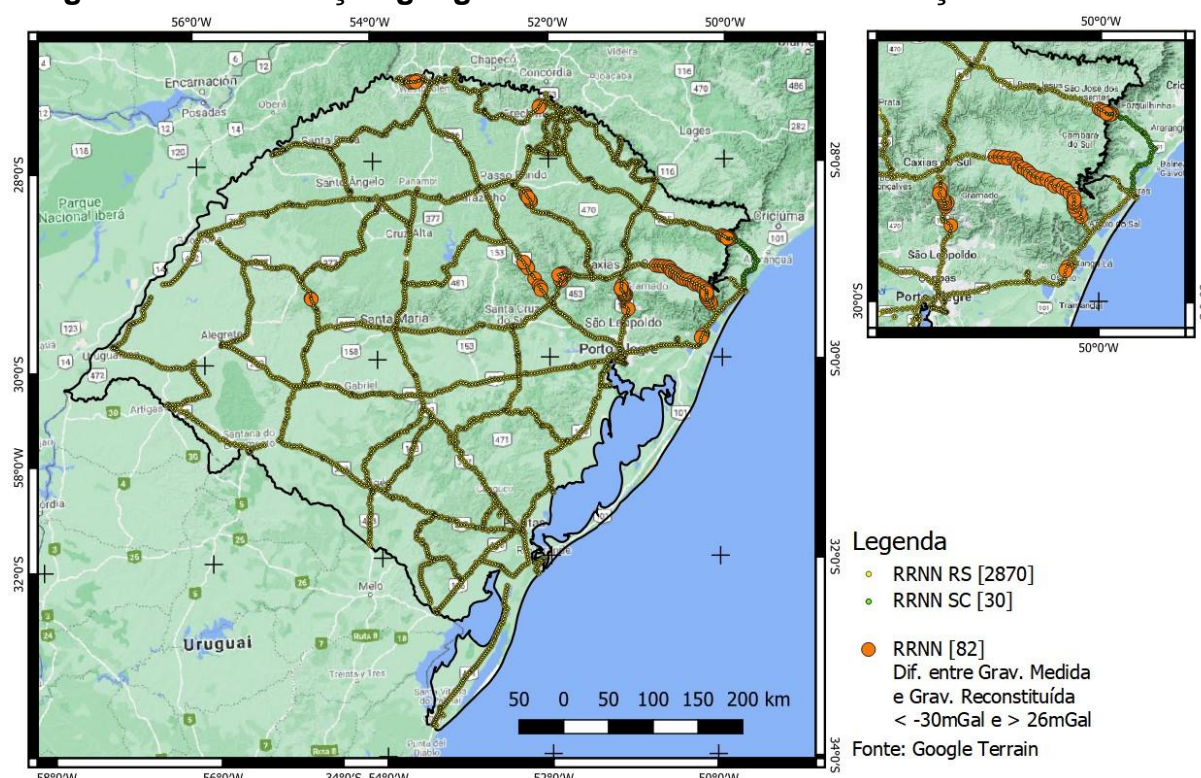
Na Tabela 10, mostra o efeito da gravidade na determinação da altitude ortométrica: ao invés de 12,5 cm, 3,8 cm, na distribuição normal de 99,7%, para 2,4 cm, na distribuição normal de 95%; enquanto que a diferença entre altitudes ortométricas passou de 2,2 cm para 2,1 cm, independente da distribuição normal, 99,7% ou 95%.

Tabela 10 - Situações com diferentes Distribuições Normais para analisar o Efeito da Gravidade na determinação da Altitude Ortométrica

2900 RRNN					
	Grav. Medida - Grav. EGM2008 (mGal)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. Medida] (cm)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. EGM2008] (cm)	Dif. H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Dif. H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]
Menor	-36,7484	-1,3672	-1,3675	-12,5047	-12,5051
Maior	142,1064	2,2314	2,2319	2,8432	2,8433
Média	-2,0877	0,2067	0,2067	0,0830	0,0827
Desvio	13,8841	0,3483	0,3483	0,8879	0,8879
2863 RRNN		3 σ (99,7%)	37 RRNN Exluídas Figura 18	<-44 mGal e >40 mGal	
Menor	-36,7484	-0,5976	-0,5976	-3,8480	-3,8481
Maior	40,5232	2,0786	2,0787	2,8432	2,8433
Média	-3,1038	0,1992	0,1992	0,1563	0,1563
Desvio	10,0167	0,3296	0,3296	0,4732	0,4732
2818 RRNN		2 σ (95%)	82 RRNN Exluídas Figura 19	<-30 mGal e >26 mGal	
Menor	-29,6533	-0,5976	-0,5976	-2,2239	-2,2240
Maior	25,8576	2,0786	2,0787	2,3926	2,3927
Média	-3,5035	0,1978	0,1978	0,1674	0,1674
Desvio	9,0319	0,3277	0,3277	0,4284	0,4284

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 19 - Localização geográfica das 82 RRNN – Distribuição Normal: 95%



Fonte: IBGE (2021): Elaborado pela autora (2020).

Tabela 11 - Diferença de Altitudes Ortométricas: [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída] (82 RRNN)

RN-Município/UF	H* [IBGE] (m)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. Medida] (cm)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. EGM2008] (cm)	Dif. H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Dif. H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Grav. Medida - Grav. EGM2008 (mGal)
1436T-Severiano de Almeida/RS	757,4233	0,7411	0,7410	2,8432	2,8433	-36,7484
1907E-São José do Herval/RS	647,3616	0,5413	0,5412	2,3438	2,3438	-35,4504
1436S-Severiano de Almeida/RS	756,1497	0,7386	0,7385	2,7044	2,7045	-35,0137
1907D-São José do Herval/RS	626,4263	0,5068	0,5068	2,2070	2,2071	-34,4968
1907F-São José do Herval/RS	649,7499	0,5452	0,5452	2,0941	2,0941	-31,5580
1907C-São José do Herval/RS	693,3914	0,6210	0,6209	2,2230	2,2231	-31,3913
1927J-Santiago/RS	208,1874	-0,0443	-0,0443	0,6471	0,6471	-30,4340
1927L-Santiago/RS	142,5720	-0,0208	-0,0208	0,4419	0,4419	-30,3485
1775V-Morro Reuter/RS	531,0850	0,3643	0,3643	-1,4411	-1,4411	26,5687
1772R-Roca Sales/RS	122,5638	0,0194	0,0194	-0,3355	-0,3355	26,8019
1772S-Roca Sales/RS	75,5670	0,0074	0,0074	-0,2111	-0,2111	27,3488
1783B-Encantado/RS	69,9360	0,0063	0,0063	-0,2025	-0,2025	28,3426
2105N-São Francisco de Paula/RS	884,8557	1,7827	1,7828	-2,5661	-2,5662	28,3926
1907P-Pouso Novo/RS	130,0699	0,0219	0,0219	-0,3838	-0,3838	28,8910
1769J-Marau/RS	615,2906	0,4890	0,4890	-1,8360	-1,8361	29,2139
1783A-Encantado/RS	55,1033	0,0039	0,0039	-0,1651	-0,1651	29,3347
1772T-Roca Sales/RS	56,9282	0,0042	0,0042	-0,1710	-0,1710	29,4093
1442U-Caiçara/RS	196,6780	0,0500	0,0500	-0,6034	-0,6034	30,0337
1780Z-Osório/RS	8,2222	0,0001	0,0001	-0,0253	-0,0253	30,1749
1772V-Muçum/RS	58,2680	0,0044	0,0044	-0,1814	-0,1814	30,4864
1442V-Caiçara/RS	194,1014	0,0487	0,0487	-0,6093	-0,6093	30,7273
1907U-Marques de Souza/RS	93,6930	0,0113	0,0113	-0,2946	-0,2946	30,7830
1772Z-Encantado/RS	103,3019	-0,0205	-0,0205	-0,3249	-0,3249	30,7983
1442X-Caiçara/RS	186,3372	0,0449	0,0449	-0,5883	-0,5883	30,9056
1772U-Roca Sales/RS	58,1875	-0,0065	-0,0065	-0,1868	-0,1868	31,4400
1775J-Picada Café/RS	444,0172	0,2546	0,2546	-1,4259	-1,4259	31,4439
1781A-Osório/RS	10,8605	-0,0002	-0,0002	-0,0351	-0,0351	31,6074
1907V-Marques de Souza/RS	99,2676	0,0127	0,0127	-0,3205	-0,3205	31,6084

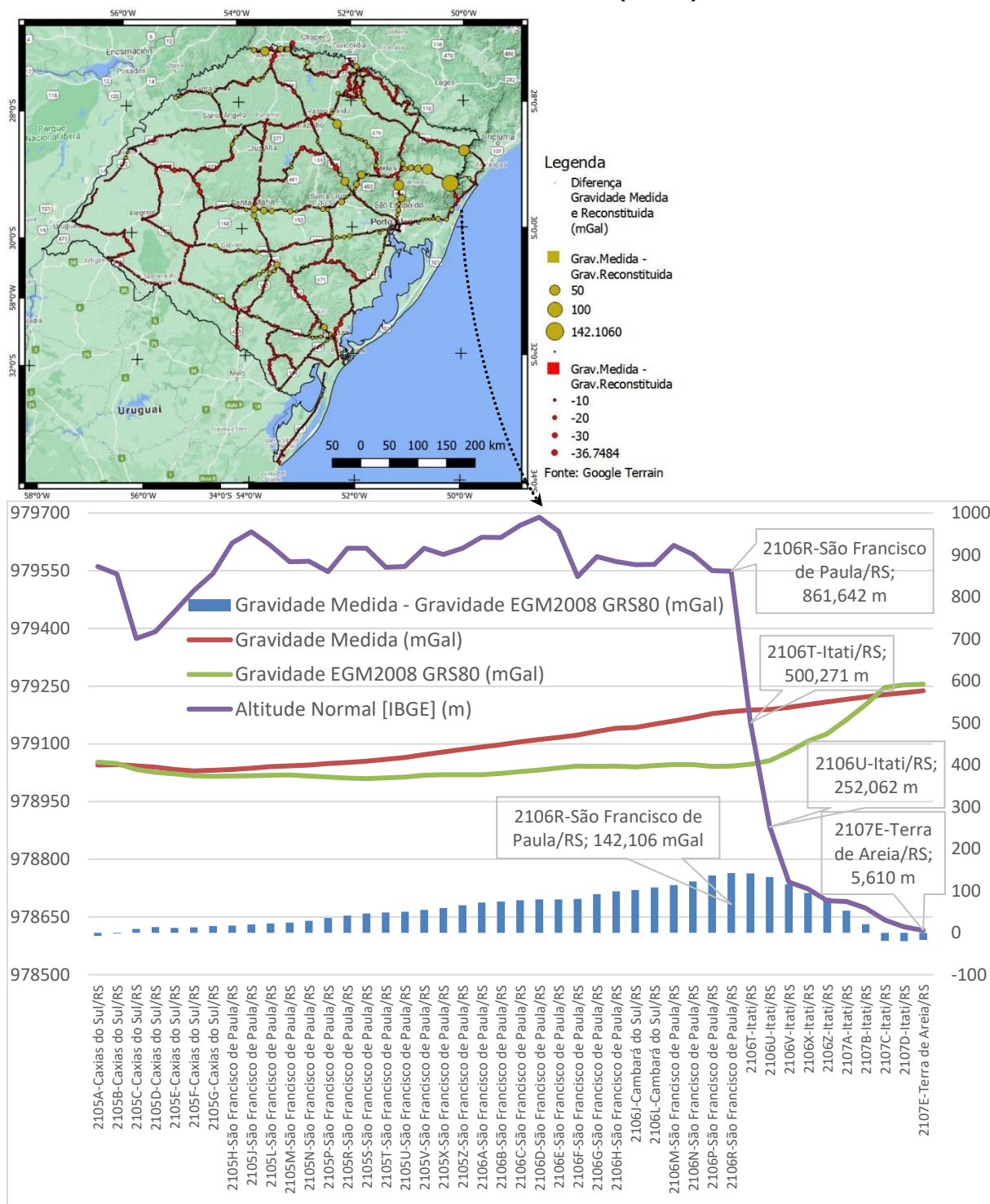
RN-Município/UF	H* [IBGE] (m)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. Medida] (cm)	H [D.Var] - H [D.Cte] [Grav. EGM2008] [cm]	Dif. H [D.Cte] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Dif. H [D.Var] (cm): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]	Grav. Medida - Grav. EGM2008 (mGal)
1769E-Passo Fundo/RS	640,5666	0,5300	0,5301	-2,0790	-2,0791	31,7746
1766X-São José dos Ausentes/RS	1.181,0486	1,8017	1,8019	-3,8480	-3,8481	31,8977
1772X-Encantado/RS	63,9331	0,0053	0,0053	-0,2159	-0,2159	33,0666
1443B-Caiçara/RS	199,7404	0,0515	0,0515	-0,7055	-0,7055	34,5767
1769H-Marau/RS	643,8641	0,5355	0,5355	-2,3005	-2,3005	34,9794
2105P-São Francisco de Paula/RS	860,2665	0,9559	0,9560	-3,0925	-3,0926	35,1951
1769F-Passo Fundo/RS	611,3076	0,4827	0,4828	-2,2395	-2,2396	35,8657
1442Z-Caiçara/RS	209,6059	0,0568	0,0568	-0,7712	-0,7712	36,0153
1775H-Nova Petrópolis/RS	583,2079	0,4392	0,4393	-2,1576	-2,1577	36,2251
1907X-Marques de Souza/RS	53,8249	0,0037	0,0037	-0,2005	-0,2005	36,4659
1775A-Caxias do Sul/RS	169,4697	0,0371	0,0371	-0,6366	-0,6366	36,7773
1775L-Nova Petrópolis/RS	285,4158	0,1052	0,1052	-1,0799	-1,0799	37,0454
1769G-Marau/RS	645,5940	0,5384	0,5384	-2,4901	-2,4902	37,7614
1775G-Nova Petrópolis/RS	586,3782	0,4440	0,4441	-2,3107	-2,3107	38,5848
1775F-Nova Petrópolis/RS	494,3794	0,3156	0,3157	-1,9532	-1,9532	38,6841
1777F-Timbé do Sul/SC	222,3108	-0,0505	-0,0505	-0,8948	-0,8948	39,4030
1443A-Caiçara/RS	213,4919	0,0589	0,0589	-0,8684	-0,8684	39,8180
2105R-São Francisco de Paula/RS	916,3038	1,9116	1,9118	-3,7925	-3,7928	40,5232
1775E-Nova Petrópolis/RS	376,1138	0,1827	0,1827	-1,6213	-1,6214	42,2078
1766Z-São José dos Ausentes/RS	1.143,8648	1,6900	1,6902	-5,0099	-5,0101	42,8795
2105S-São Francisco de Paula/RS	915,8225	1,9096	1,9098	-4,2717	-4,2719	45,6666
1777E-Timbé do Sul/SC	462,6552	-0,4112	-0,4113	-2,1892	-2,1892	46,3224
1775D-Nova Petrópolis/RS	196,2458	0,0497	0,0497	-0,9597	-0,9597	47,8820
1777D-Timbé do Sul/SC	693,9473	-0,9250	-0,9251	-3,3945	-3,3943	47,8882
2105T-São Francisco de Paula/RS	870,7283	0,9792	0,9794	-4,2846	-4,2847	48,1768
2105U-São Francisco de Paula/RS	872,3145	0,9828	0,9829	-4,4893	-4,4894	50,3864
2107A-Itati/RS	74,5837	-0,0107	-0,0107	-0,4027	-0,4027	52,8631
2105V-São Francisco de Paula/RS	916,3637	1,0845	1,0847	-5,0672	-5,0674	54,1411
1777A-São José dos Ausentes/RS	1.184,6490	1,8126	1,8129	-6,5995	-6,5998	54,5416
1777C-Timbé do Sul/SC	907,0430	-0,8403	-0,8404	-5,2456	-5,2454	56,6180
1777B-Timbé do Sul/SC	1.157,0882	-1,3672	-1,3675	-6,8921	-6,8919	58,3183
1775C-Caxias do Sul/RS	74,4558	-0,0057	-0,0057	-0,4466	-0,4466	58,7318
2105X-São Francisco de Paula/RS	900,9218	1,0483	1,0484	-5,4208	-5,4210	58,9121
1775B-Caxias do Sul/RS	96,1569	-0,0094	-0,0094	-0,5813	-0,5813	59,1921
2105Z-São Francisco de Paula/RS	915,9173	1,0834	1,0836	-6,1609	-6,1611	65,8587
2106A-São Francisco de Paula/RS	942,2679	2,0212	2,0217	-6,9178	-6,9182	71,8833
2106B-São Francisco de Paula/RS	941,8844	2,0195	2,0200	-7,1753	-7,1757	74,5895
2106C-São Francisco de Paula/RS	970,9046	2,1458	2,1463	-7,6985	-7,6990	77,6379
2106D-São Francisco de Paula/RS	990,0856	2,2314	2,2319	-7,9963	-7,9968	79,0804
2106E-São Francisco de Paula/RS	956,5774	1,1816	1,1819	-7,7342	-7,7345	79,1679
2106F-São Francisco de Paula/RS	848,6382	0,9300	0,9303	-6,9989	-6,9992	80,7522
2106Z-Itati/RS	76,4513	-0,0112	-0,0112	-0,6468	-0,6468	82,8380
2106G-São Francisco de Paula/RS	896,4630	1,0378	1,0380	-8,3749	-8,3752	91,4750
2106X-Itati/RS	104,4570	-0,0210	-0,0210	-1,0119	-1,0119	94,8437
2106H-São Francisco de Paula/RS	884,1105	1,0093	1,0096	-8,8871	-8,8874	98,4263
2106J-Cambará do Sul/RS	876,6833	0,9924	0,9928	-9,1204	-9,1207	101,8647
2106L-Cambará do Sul/RS	877,8109	0,9950	0,9953	-9,6591	-9,6595	107,7450
2106M-São Francisco de Paula/RS	923,0891	1,1002	1,1006	-10,6999	-10,7002	113,5022
2106V-Itati/RS	121,0594	0,0189	0,0189	-1,4245	-1,4245	115,2036
2106N-São Francisco de Paula/RS	901,6531	1,0497	1,0501	-11,2468	-11,2472	122,1403
2106U-Itati/RS	252,0621	0,0821	0,0821	-3,4224	-3,4224	132,9296
2106P-São Francisco de Paula/RS	862,6905	0,9609	0,9613	-12,0395	-12,0399	136,6537
2106T-Itati/RS	500,2706	0,3232	0,3233	-7,2337	-7,2338	141,5737
2106R-São Francisco de Paula/RS	861,6422	0,9586	0,9590	-12,5047	-12,5051	142,1064

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 5, verifica-se uma diferença de 142,1064 mGal entre as gravidades medida e reconstituída. Trata-se da RN 2106R em São Francisco de Paula (RS), localizado nas coordenadas latitude 29°21'56"S e longitude 50°10'48"O, com altitude normal de 861,6422 m e densidade topográfica de 2,97 g/cm³. Desta forma, foi

analisada separadamente a linha de nivelamento que contempla a RN 2106R, da RN 2105A até a RN 2107E, composta por 45 RRNN representadas na Figura 20.

Figura 20 - RRNN vs Diferença entre a Gravidade Medida e a Gravidade Reconstituída (mGal)



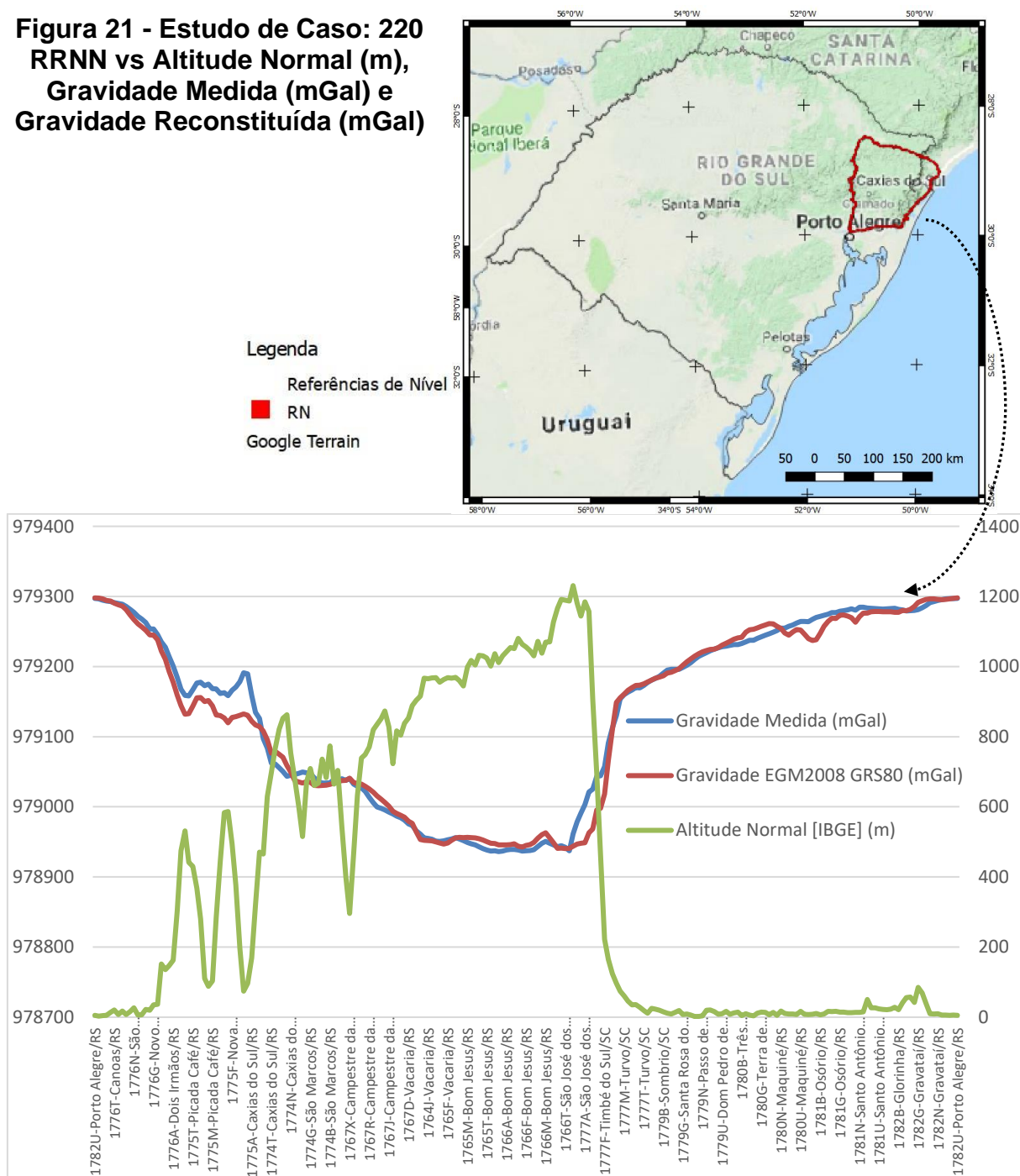
Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Barthelmes & Köhler (2020); Elaborado pela autora (2020).

A RN 2106R localizada em São Francisco de Paula (RS), com maior diferença entre as gravidades medida e reconstituída, encontra-se em altitude elevada, e na

sequência da linha de nivelamento, verifica-se que a altitude decresce abruptamente em Itati/RS em direção a Terra de Areia/RS, mais próximas do NMM.

Foi realizada uma avaliação, a partir de um perfil, selecionado dentro da área de pesquisa, que inicia e termina em Porto Alegre/RS, passando por Vacaria/RS, Araranguá/SC e Osório/RS, como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Estudo de Caso: 220 RRNN vs Altitude Normal (m), Gravidade Medida (mGal) e Gravidade Reconstituída (mGal)

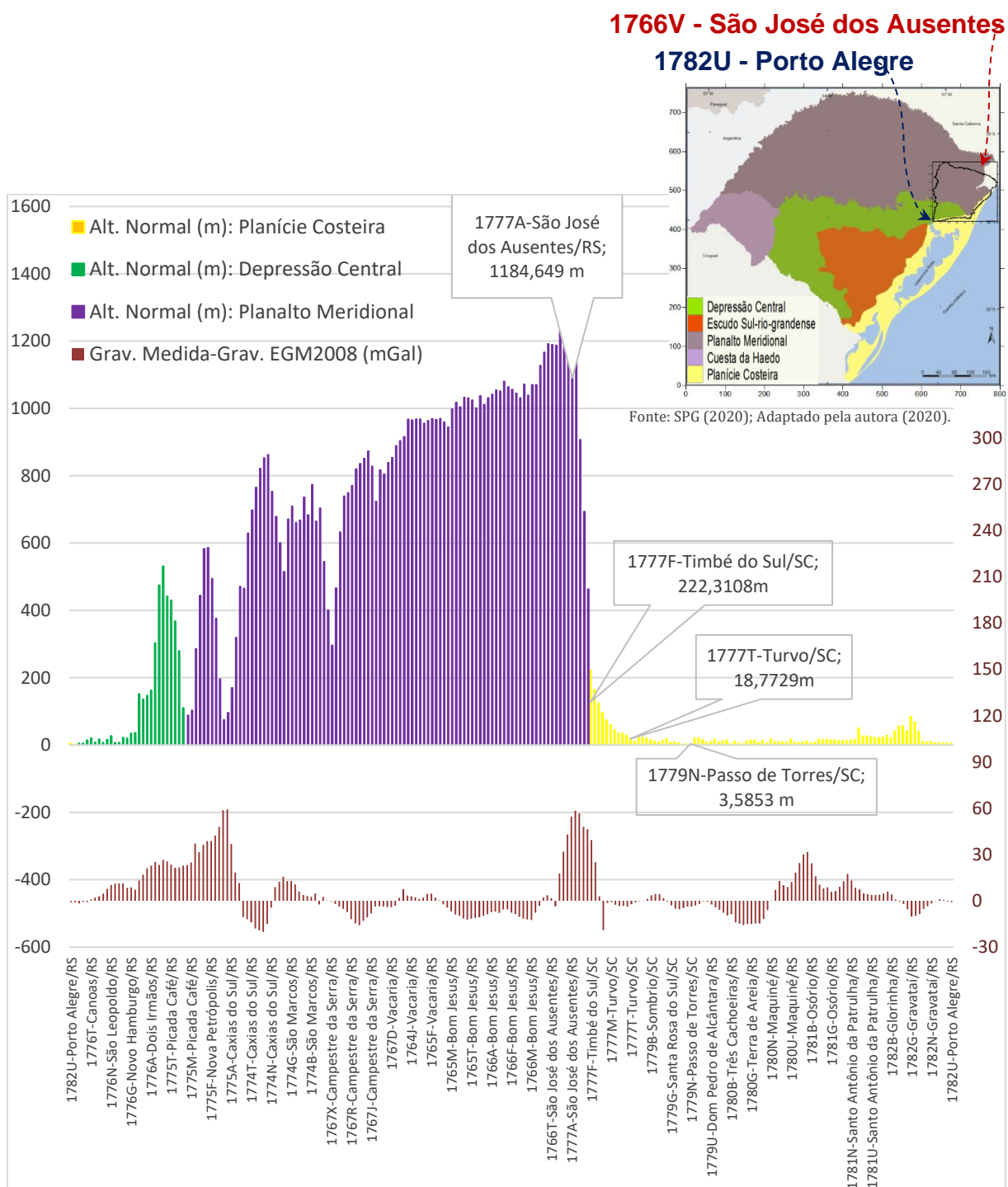


Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Os resultados anteriormente mostrados da diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída, confirmam que os maiores valores dessa diferença encontra-

se em locais de grande variação altimétrica. Na Figura 22 está representado o relevo e a diferença entre as gravidades junto à rede altimétrica na área de estudo de caso.

Figura 22 - Estudo de Caso: 220 RRNN vs Altitude Normal (m) da Área de Estudo & Geomorfologia



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 12 mostra os valores da SGQG, obtida através da diferença da Altitude Normal e Ortométrica, para dois municípios do estado do RS; São José dos

Ausentes com altitudes elevadas, e Porto Alegre com altitudes mais próximas do NMM.

Tabela 12 - Valores da SGQG obtida através da diferença da Altitude Normal e Ortométrica para os municípios de São José dos Ausentes e Porto Alegre/RS

RN-Município	Latitude (°)	Longitude (°)	H* [IBGE] (m)	H [D.Cte] (m)	H [D.Var] (m)	H [D.Cte] - H* [IBGE] (cm)	H [D.Var] - H* [IBGE] (cm)	H [D.Var] - H [D.Cte] (cm)
1766S-São José dos Ausentes	-28,735556	-50,116111	1.191,371	1.191,429	1.191,448	5,876	7,710	1,833
1766U-São José dos Ausentes	-28,748333	-50,064167	1.186,815	1.186,885	1.186,903	6,974	8,794	1,820
1766V-São José dos Ausentes	-28,761944	-50,024167	1.230,817	1.230,849	1.230,868	3,227	5,183	1,957
1766X-São José dos Ausentes	-28,776389	-50,006111	1.181,049	1.181,072	1.181,090	2,297	4,098	1,802
1766Z-São José dos Ausentes	-28,783889	-49,990000	1.143,865	1.143,882	1.143,899	1,749	3,439	1,690
1788J-Porto Alegre	-30,043611	-51,143056	81,217	81,217	81,218	0,097	0,106	0,009
1788L-Porto Alegre	-30,013611	-51,133889	45,629	45,630	45,630	0,080	0,084	0,005
1788N-Porto Alegre	-30,009444	-51,144722	19,503	19,503	19,503	0,041	0,042	0,001
1788P-Porto Alegre	-29,992778	-51,129167	7,439	7,439	7,439	0,020	0,020	0,000
1788R-Porto Alegre	-29,987500	-51,125000	4,099	4,099	4,099	0,007	0,007	0,000

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 13 apresenta os valores de densidade e a respectiva diferença para as RRNN dos municípios de São José dos Ausentes/RS e Porto Alegre/RS.

Tabela 13 - Valores da Densidades & Diferença entre as Densidades Variável e Constante para os municípios de São José dos Ausentes e Porto Alegre/RS

RN-Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Densidade Variável [D.Var] (g/cm ³)	Densidade Constante [D.Cte] (g/cm ³)	Diferença: [D.Var] - [D.Cte] (g/cm ³)
1766S-São José dos Ausentes	-28,735556	-50,116111	2,97	2,67	0,30
1766U-São José dos Ausentes	-28,748333	-50,064167	2,97	2,67	0,30
1766V-São José dos Ausentes	-28,761944	-50,024167	2,97	2,67	0,30
1766X-São José dos Ausentes	-28,776389	-50,006111	2,97	2,67	0,30
1766Z-São José dos Ausentes	-28,783889	-49,990000	2,97	2,67	0,30
1788J-Porto Alegre	-30,043611	-51,143056	2,97	2,67	0,30
1788L-Porto Alegre	-30,013611	-51,133889	3,20	2,67	0,53
1788N-Porto Alegre	-30,009444	-51,144722	3,20	2,67	0,53
1788P-Porto Alegre	-29,992778	-51,129167	3,20	2,67	0,53
1788R-Porto Alegre	-29,987500	-51,125000	2,22	2,67	-0,45

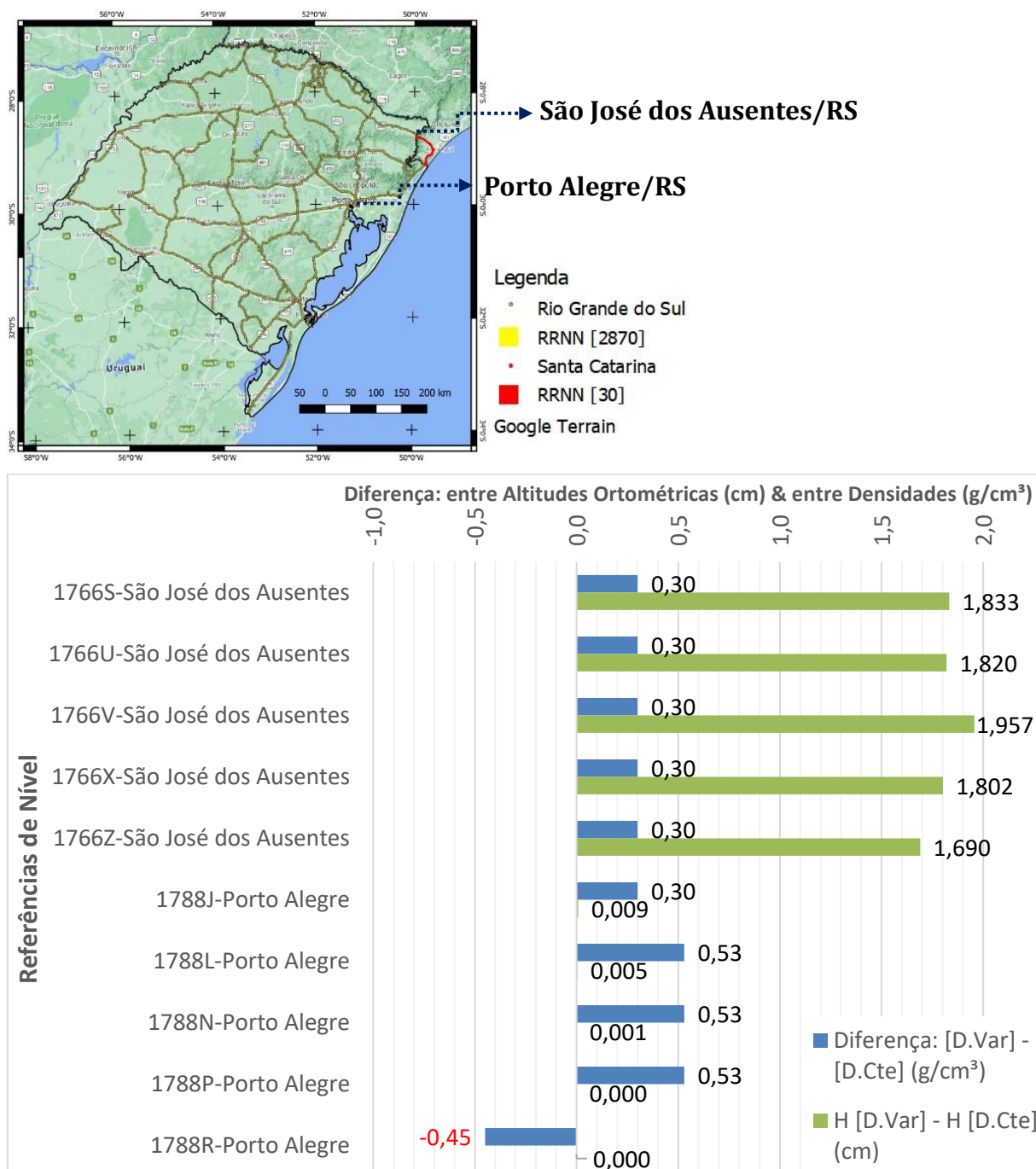
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se na Tabela 13, que a densidade topográfica da RN 1788R é menor do que a densidade constante que é de de 2,97 g/cm³. Desta forma, o resultado da diferença é negativo, como consta na Figura 23.

A Figura 23 destaca as RRNN de dois municípios do estado do RS, São José

dos Ausentes e Porto Alegre, a diferença entre as altitudes ortométricas, com densidade variável e com densidade constante, e entre as densidades variável e constante.

Figura 23 - RRNN de São José dos Ausentes/RS e Porto Alegre/RS vs Diferença: entre Altitudes Ortométricas (cm) & entre Densidades (g/cm^3)



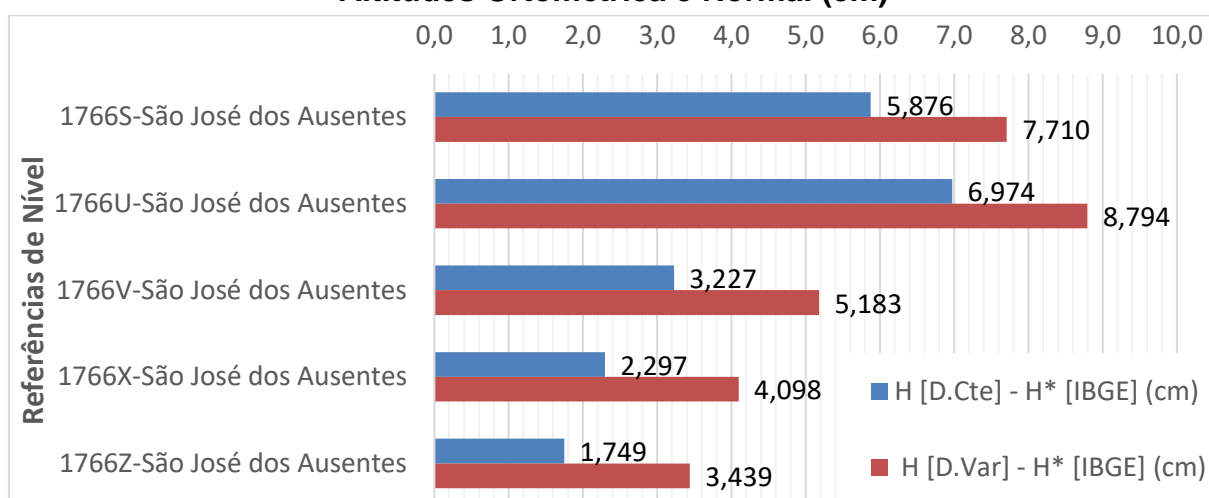
Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Observa-se que em altitudes elevadas a diferença entre as altitudes ortométricas é maior, aproximadamente 2 cm, e em altitudes próximas do NMM, como é o caso de Porto Alegre/RS, esta diferença é muito próxima de 0 cm. O valor negativo

da diferença de densidade da RN 1788R de Porto Alegre/RS, deve-se ao fato de que a densidade variável possui o valor de $2,22 \text{ g/cm}^3$, enquanto a densidade constante é maior, $2,67 \text{ g/cm}^3$, diferentemente do que ocorre nas outras quatro RRNN de Porto Alegre/RS apresentadas na Tabela 13.

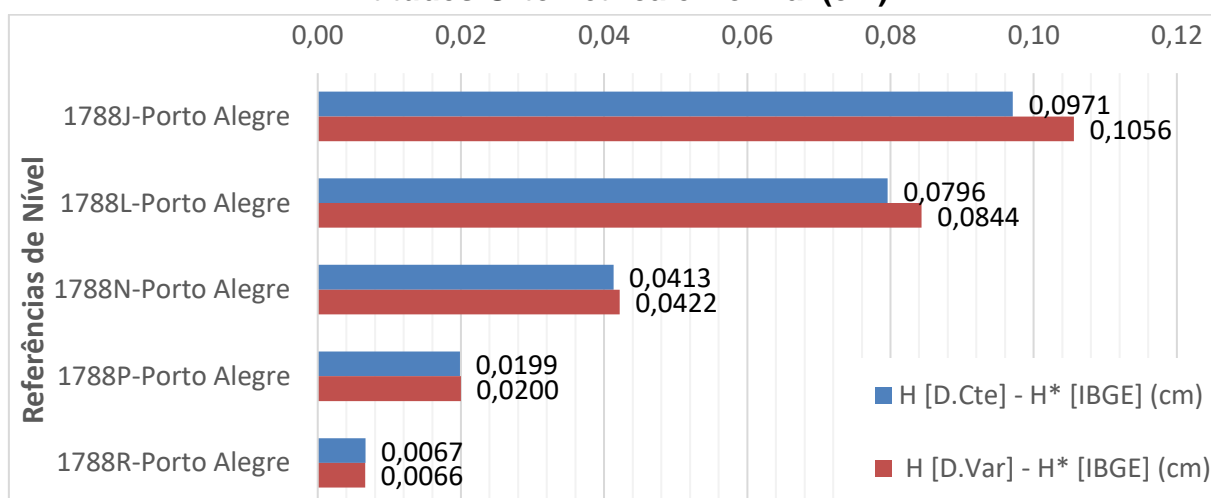
Enquanto que na Figura 24 apresenta as mesmas RRNN exemplificadas de São José dos Ausentes/RS na Figura 23, a diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (com densidade constante e com densidade variável), a Figura 25 se refere as RRNN de Porto Alegre/RS.

Figura 24 - RRNN de São José dos Ausentes/RS vs Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 25 - RRNN de Porto Alegre/RS vs Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

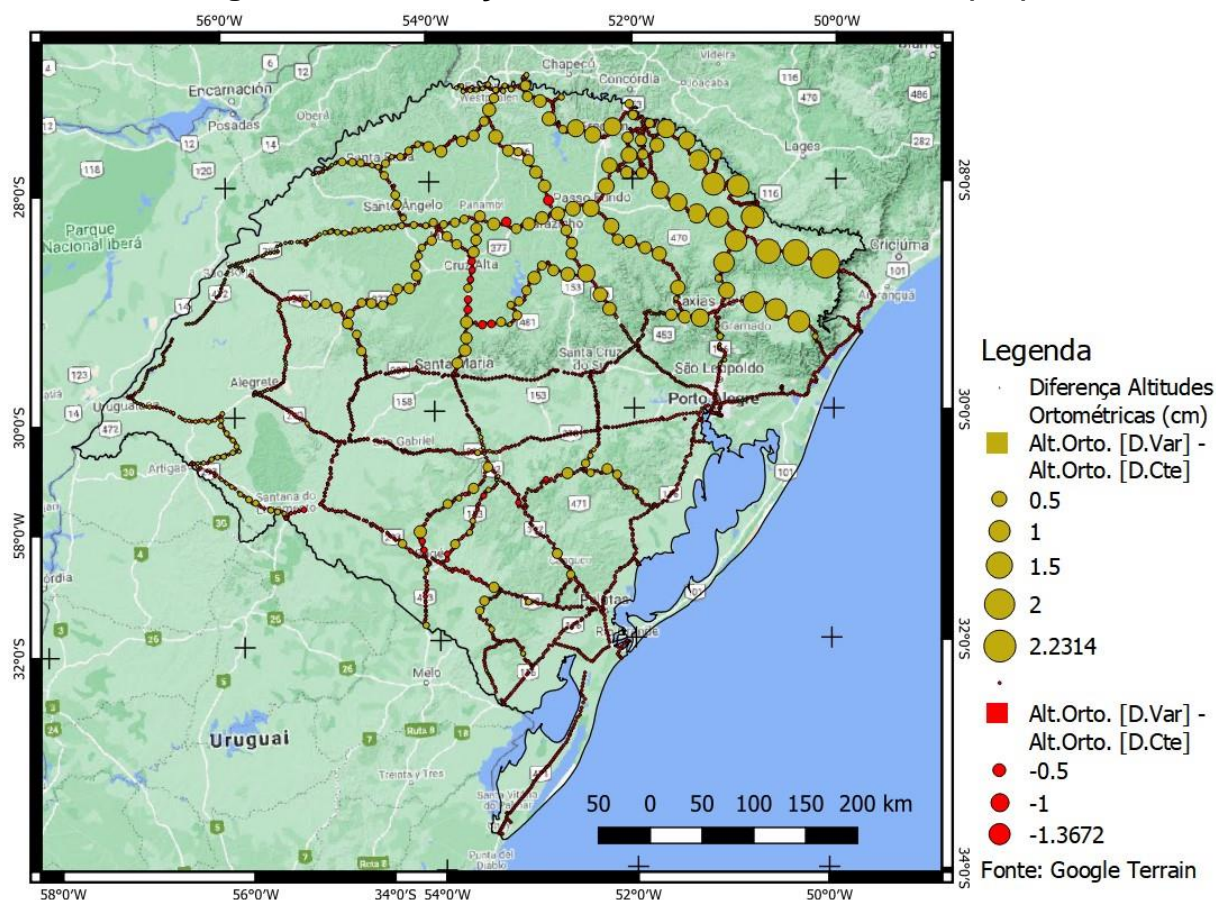
Observa-se que as maiores diferenças ocorrem entre a altitude ortométrica e a altitude normal com densidade variável. Tomando como exemplo o município de São

José dos Ausentes/RS, na RN 1766U, esta diferença é de aproximadamente 9 cm com densidade variável, e de aproximadamente 7 cm entre a altitude ortométrica e a altitude normal com densidade constante. Em Porto Alegre/RS, esta diferença não é significativa, ou seja, em regiões próximas no NMM, as altitudes ortométricas são muito próximas das altitudes normais, isto é, não é afetada pela variação da densidade topográfica.

4.2 Análise da Separação entre o Geoide e o Quase Geoide a partir da Altitude Ortométrica

As altitudes ortométricas de Helmert com valor para densidade constante, e a com valor para a densidade variável, são obtidas através da Equação (10) na Equação (8). Desta maneira, obteve-se a Tabela 14, os resultados estatísticos das 2900 RRNN para as diferenças entre as altitudes ortométricas, e a Figura 26; observa-se que na região do nordeste do estado do Rio Grande do Sul ocorrem as maiores diferenças entre as altitudes ortométricas de Helmert resultantes.

Figura 26 - Diferença entre Altitudes Ortométricas (cm)



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

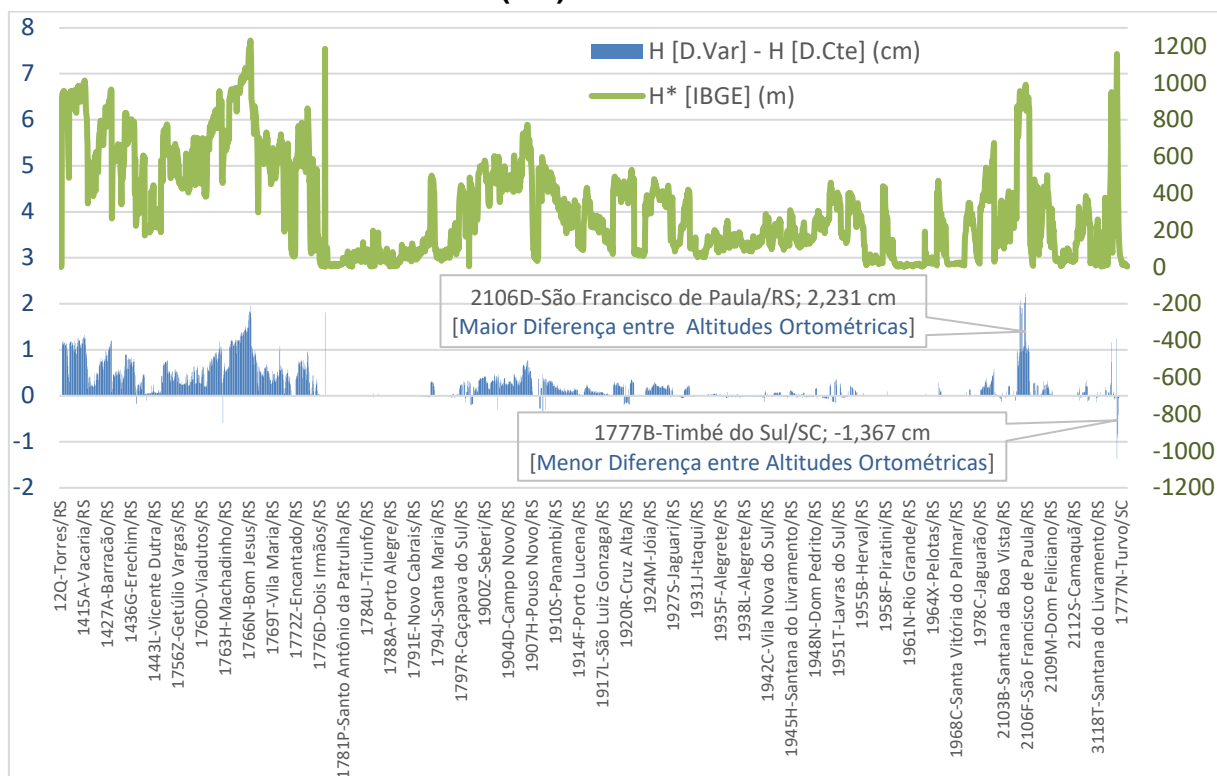
Tabela 14 - Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm)

	H [D.Var] - H [D.Cte] (cm)
Menor	-1,3672
Maior	2,2314
Média	0,2064
Desvio	0,3483

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

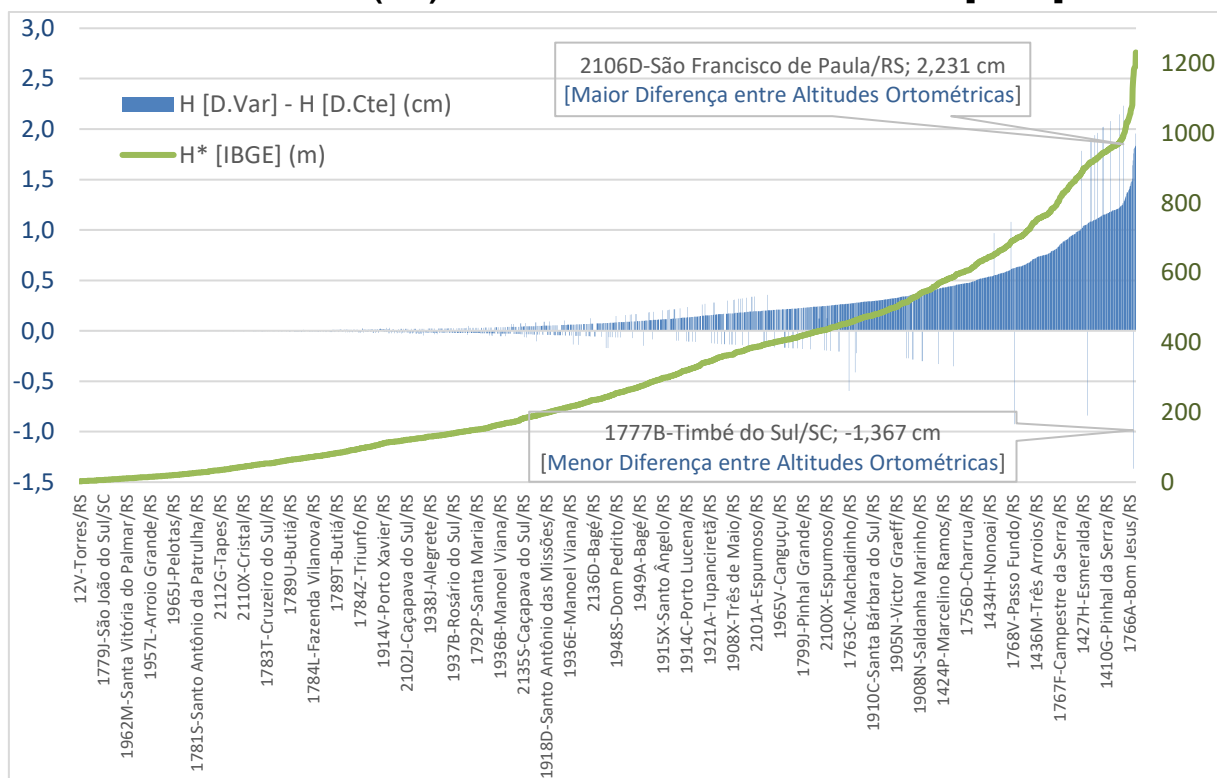
Na Figura 27 que mostra a diferença entre as altitudes ortométricas com altitude normal ordenada pela RRNN, e na Figura 28 altitude normal ordenada pelo valor, observa-se que as diferenças positivas são coincidentes com os locais onde a altitude é mais elevada, chegando a aproximadamente 2,3 cm. Os valores negativos encontrados para diferenças entre as altitudes ortométricas, não ultrapassando a -1,4 cm, estão relacionados com a variação de densidade e localizados na região plana do estado do Rio Grande do Sul. Deve-se levar em conta que a densidade nesse local é maior do que a densidade média da crosta utilizada como referência. Neste caso, deve-se enfatizar que os valores obtidos para a densidade a partir do mapa geológico, são menores que o valor padrão utilizado para a densidade da crosta. Os resultados mostram que o efeito da variação da densidade topográfica é da ordem centimétrica para a região de estudo, corroborando com os resultados encontrados por outros pesquisadores em outras áreas no mundo (Huang *et al.*, 2001). Deve ser salientado que o efeito da variação vertical da densidade das massas topográficas não foi considerado. Na Figura 27 e Figura 28, estão identificadas as RRNN de maior e de menor diferença entre altitudes as altitudes ortométricas, conforme Tabela 14.

Figura 27 - RRNN vs Altitude Normal (m) & Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm) → Ordenamento: RRNN



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Figura 28 - RRNN vs Altitude Normal (m) & Diferença entre as Altitudes Ortométricas (cm) → Ordenamento: Altitude Normal [IBGE]



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Obeve-se separação entre o geóide e o quase geóide (SGQG) a partir da anomalia de altitude ζ e ondulação geoidal N extraídas do modelo geopotencial **EGM2008**. Esse resultado foi comparado com as diferenças entre as altitudes ortométrica e normal, em todas as 2900 RRNN que fazem parte deste estudo, considerando a altitude ortométrica calculada com densidade constante e com densidade variável, como vê-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal & Diferença entre a Anomalia de Altitude e a Ondulação Geoidal (2900 RRNN)

	H [D.Var] - H* [IBGE] (cm)	H [D.Cte] - H* [IBGE] (cm)	Anomalia de Altitude [EGM2008 GRS80] - Ondulação Geoidal [EGM2008 GRS80] (cm)
Menor	-5,9880	-6,9465	-0,5195
Maior	10,0815	8,7860	7,7117
Média	1,6141	1,4077	1,3991
Desvio	2,3405	2,0651	1,9322

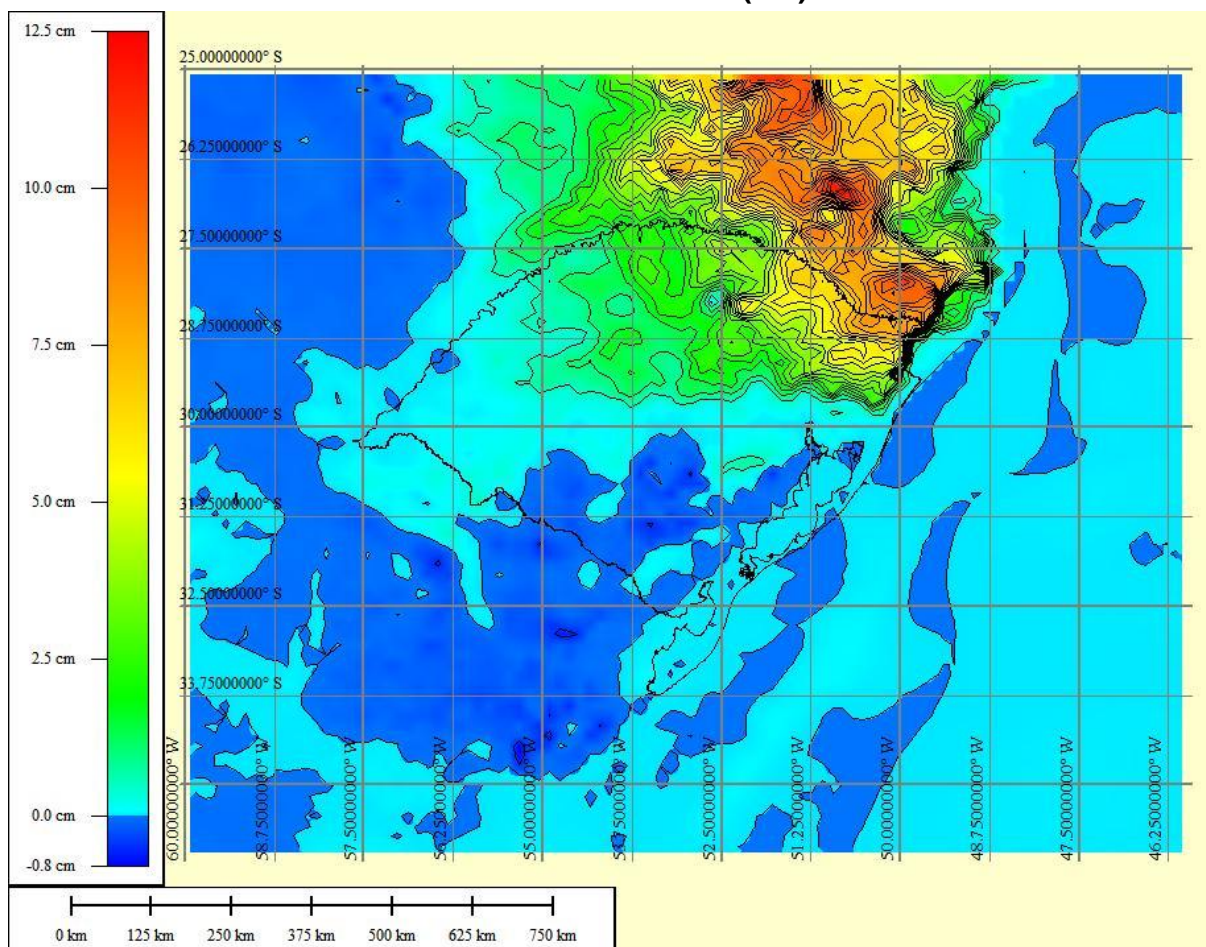
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 15 nota-se que a média encontrada para o SGQG a partir do modelo do geopotencial EGM2008 (1,399 cm) se aproxima das diferenças da SGQG obtidas pelas altitudes ortométrica e normal com a densidade constante (1,408 cm). Este resultado demonstra que o MGG EGM2008 está vinculado a superfície de referência quase geóide, que não considera a densidade topográfica.

A Figura 29 mostra o mapa da diferença entre anomalia da altitude e ondulação geoidal do Modelo EGM2008.

Observa-se, na Figura 29, que as maiores diferenças entre a anomalia da altitude e ondulação geoidal do modelo EGM2008, ocorrem em locais de altitude elevada, como a região nordeste no estado do RS, e é zero nos oceanos, e em regiões com altitudes próximas do NMM.

Figura 29 - Mapa da Diferença entre Anomalia da Altitude e Ondulação Geoidal do Modelo EGM2008 (cm)

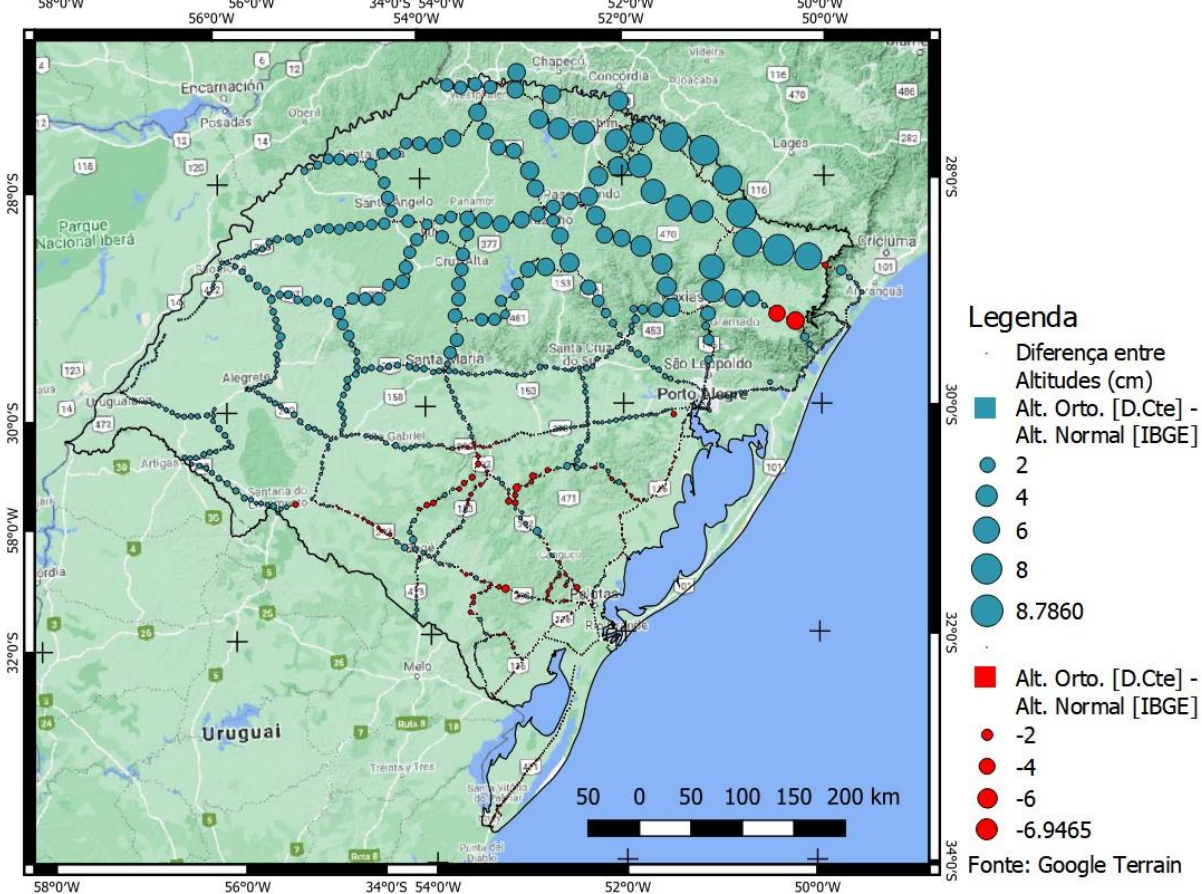
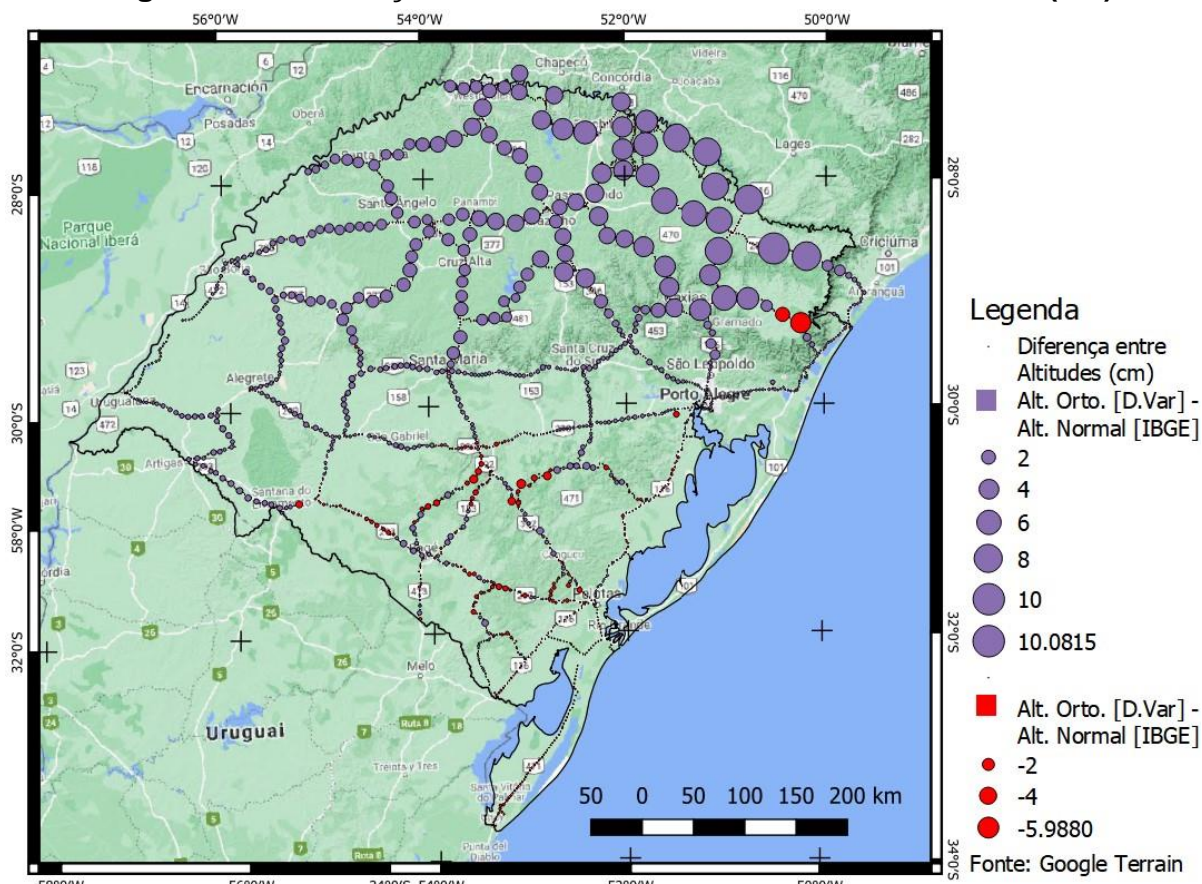


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Tanto na Figura 30, como na Figura 31, observa-se a distribuição geográfica da SGQG, onde verifica-se que as diferenças estão na ordem de centímetros. As maiores diferenças estão localizadas na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), área de maior altitude no estado. Na Figura 30 os valores negativos são referentes a variação da densidade, sendo que os valores negativos mais significativos estão associados a uma mudança abrupta de altitude, por exemplo, de uma RN com altitude elevada para uma RN com altitude próxima ao NMM, valores que, considerando a densidade variável e a densidade constante, não ultrapassam a $-5,99$ cm e a $-6,95$ cm, respectivamente.

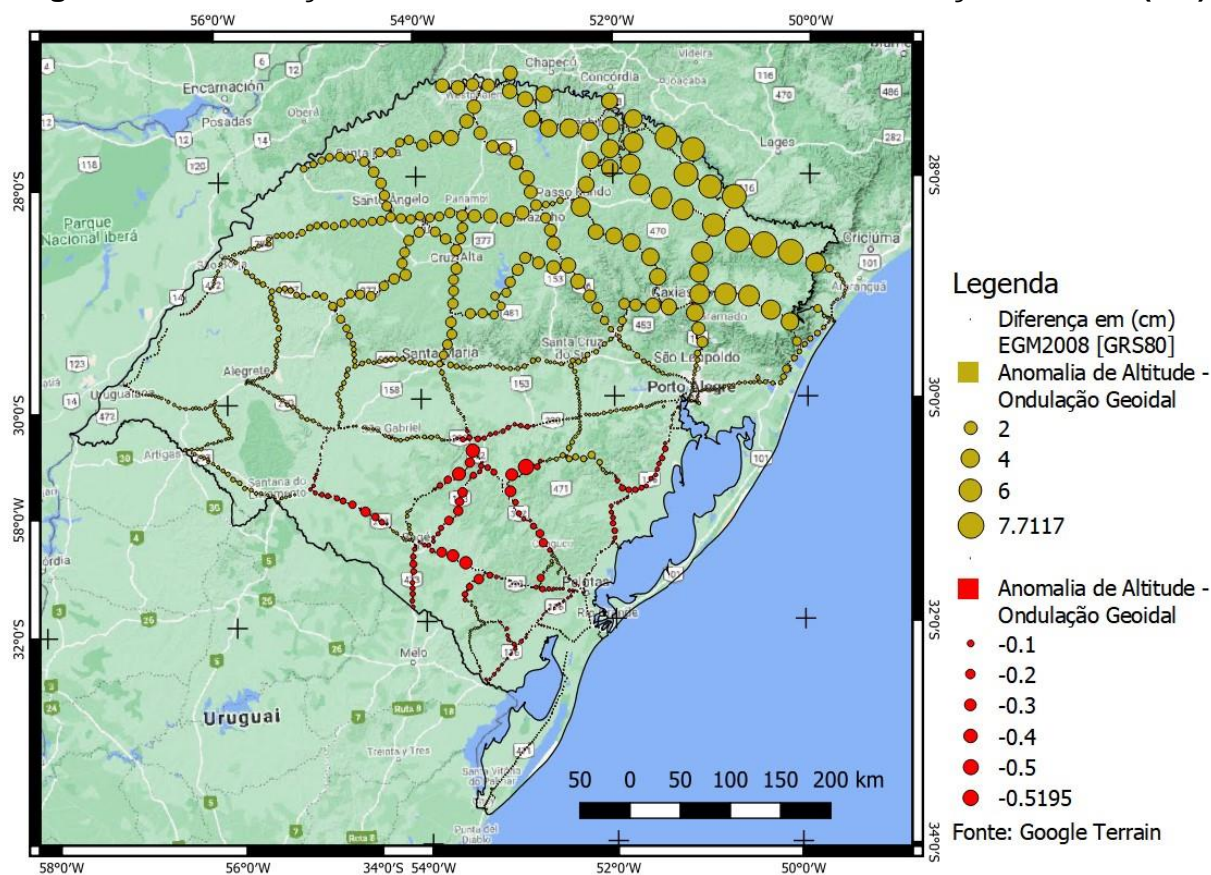
Na Figura 31 observa-se que os valores negativos estão relacionados a altitudes mais próximas ao NMM, valores que não excedem a $-0,52$ cm, que devem indicar as diferenças entre os dados gravimétricos e os topográficos utilizados na determinação dos coeficientes do modelo do geopotencial.

Figura 30 - Diferença entre as Altitudes Ortométrica e Normal (cm)



Fonte: IBGE (2021); LAGEO (2017); Elaborado pela autora (2020).

Figura 31 - Diferença entre a Anomalia de Altitude e a Ondulação Geoidal (cm)



Fonte: IBGE (2021): Elaborado pela autora (2020).

Na Tabela 16 vê-se as RRNN apresentaram valores negativos na SGQG que foram causados pela gravidade interpolada em locais onde não foram medidas (como por exemplo a RN 2106R).

Tabela 16 - Estatística da SGQG [Máximos e Mínimos] (2900 RRNN).

RR- Município/UF	Latitude (°)	Longitude (°)	Diferença: [D.Var] - [D.Cte] (g/cm ³)	H [D.Cte] - H* [IBGE] (cm)	H [D.Var] - H* [IBGE] (cm)	H [D.Var] - H [D.Cte] (cm)	Anomalia de Altitude EGM2008 - Ondulação Geoidal EGM2008 (cm)
1765U-Bom Jesus/RS	-28,635833	-50,534722	0,30	8,786	10,082	1,296	7,585
2106R-São Francisco de Paula/RS	-29,356389	-50,179722	0,30	-6,947	-5,988	0,959	3,560
1766E-Bom Jesus/RS	-28,651111	-50,382500	0,30	8,111	9,572	1,461	7,712
2104S-Encruzilhada do Sul/RS	-30,633333	-52,933333	0,00	-0,707	-0,706	0,001	-0,520
2106D-São Francisco de Paula/RS	-29,218333	-50,450278	0,53	-4,245	-2,013	2,231	4,570
1777B-Timbé do Sul/SC	-28,804722	-49,950556	-0,24	-1,950	-3,317	-1,367	5,432

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5. CONCLUSÃO

Estudou-se a SGQG, com o objetivo da sua futura utilização na conversão da altitude normal em altitude ortométrica. Verifica-se que as estações com maior diferença entre as gravidades medida e reconstituída encontram-se em locais em que a altitude elevada passa abruptamente para altitudes mais baixas, ou vice-versa. Quando é analisado o efeito da gravidade na determinação da altitude ortométrica, o valor máximo observado foi de 12,5 cm, isto é, comparando a mesma altitude ortométrica e densidade considerada, calculada com a gravidade medida e com a gravidade reconstituída. Quando remove-se as 37 RRNN que apresentaram diferença entre a gravidade medida e a gravidade reconstituída menores que -44 mGal e maiores que 40 mGal, observou-se a redução do valor 12,5 cm, para um valor em torno de 3,8 cm, aproximando desta forma os valores de altitude ortométrica obtido pela gravidade medida e pela gravidade reconstituída. Sendo assim, o modelo reconstituído ainda não substitui a gravidade medida, principalmente nas áreas onde ocorrem mudanças abruptas de altitude. Os efeitos da variação da densidade na determinação das altitudes ortométricas de Helmert foram avaliados, e a sua contribuição, nas RRNN de altitude mais elevada, é de 2 cm e são observados na região nordeste do estado do RS. A SGQG obtida através do modelo do geopotencial, e as avaliadas a partir da diferença entre as altitudes ortométrica e normal variou de -6 cm a 10 cm, sendo que os maiores valores são observados no município de São José dos Ausentes e áreas adjacentes; para o restante do estado do RS essa separação não ultrapassa 2 cm. Os valores negativos na SGQG foram causados pela gravidade interpolada, onde não foram medidas, notadamente na linha entre Caxias do Sul/RS e Terra de Areia/RS. Os resultados desta pesquisa mostram a necessidade da efetiva incorporação das variações das densidades das massas topográficas aos cálculos da SGQG, quando se deseja a determinação das altitudes ortométricas. A metodologia utilizada considerou a influência da densidade dos materiais e da gravidade medida. Os resultados obtidos concordaram com a hipótese de que é possível endossar o sistema de altitude clássico, pois é viável obter a altitude ortométrica no estado do RS no contexto das RRNN. Ressaltando que, o geoide é uma superfície equipotencial do campo da gravidade, é uma superfície lisa, sem dobras, arestas ou outras irregularidades, portanto, fisicamente significativa e descritível por uma expressão matemática; enquanto o quase geoide, introduzido por

Molodenski, não é uma superfície equipotencial e não tem significado especial em geofísica.

REFERÊNCIAS

- ALBARICI, F. L.; GUIMARÃES, G. N.; FOROUGH, I.; SANTOS, M. & TRABANCO, J. L. A. Separação Entre Geoide e Quase-Geoide: Análise das Diferenças Entre as Altitudes Normal-Ortométrica e Ortométrica Rigorosa. **Anuário do Instituto de Geociências** - UFRJ, 2018. Vol. 41 - 3 / 2018 p. 71-81. Disponível em <http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_71_81>
- ARANA, J. M. **Geodésia Física**. Universidade Estadual Paulista. UNESP, 2009. Disponível em: <<https://www.scribd.com/document/105749975/Geodesia-Fisica-Jose-Milton-Arana>>
- BARTHELMES, F. & KÖHLER, W. **ICGEM - International Centre for Global Earth Models - Gravity Field Models, 2020 - Services coordinated by the International Gravity Field Service (IGFS) of the International Association of Geodesy (IAG)** Disponível em: < <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>>
- BELAYA, Y.; GODAHB, SZELACHOWSKAB, W. M. & TENZER, R. *ETH-GQS: An estimation of geoid-to-quasigeoid separation over Ethiopia. 2022. In: **Geodesy and Geodynamics. Volume 13, Issue 1, January 2022, Pages 31-37.*** Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.09.006>>
- BLITZKOW, D.; CAMPOS I. de O. & FREITAS S. R. C. de. Altitude: O que interessa e como equacionar. In: **Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Universidade de São Paulo. USP, 2004. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/altitude.pdf>>
- DALAZOANA, R. **Implicações na cartografia com a evolução do sistema geodésico brasileiro e futura adoção do SIRGAS**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/41206>>
- DALAZOANA, R. **Estudos dirigidos à análise temporal do Datum vertical brasileiro**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2005. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp107250.pdf>>
- FALAVIGNA, G. P.; SOUZA, S. F.; XAVIER, M. B. & ROLIM, S. B. A. Controle de qualidade aplicado a dados gravimétricos. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 2, p. 20-29, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v2n1.5443>>
- FERREIRA, V. G.; FREITAS, S. R. C. de & HECK, B. Determinação da diferença de geopotencial do Datum Vertical Brasileiro relativa ao Earth Gravity Model 2008. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, No. 62/3 pp. 467-477, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279445556_DETERMINACAO_DA_DIFERENCA_DE_GEOPOTENCIAL_DO_DATUM_VERTICAL_BRASILEIRO_RELATIVA_AO_EARTH_GRAVITY_MODEL_2008>
- FERREIRA, V. G.; FREITAS, S. R. C. de & HECK, B. A Separação entre o geoide e o quase-geoide: Uma Análise no contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Cartografia** No. 63 Edição Especial 40 Anos, 2011. (ISSN 0560-4613) Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/43766/23030/0>>

FLURY, J. & RUMMEL, R. *On the geoid-quasigeoid separation in mountainous areas. Journal of Geodesy* 83: 829-847, 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-009-0302-9>>

FOROUGH, I. & TENZER, R. *Comparison of different methods for estimating the geoid-to-quasi-geoid separation. Geophysical Journal International*, 2017: 210(2): 1001-1020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/gji/ggx221>>

FOROUGH, I.; VANÍČEK, P.; SHENG, M.; KINGDON, R. W. & SANTOS, M. C. *In Defense of the Classical Height System. Geophysical Journal International*, 2017: 211, 1154-1161. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/gji/ggx366>>

FREITAS, S. R. C. de & BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. In: **International Geoid Service**. Bulletin N.9 - Special Issue for South America, p. 47-62, Milan, 1999. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/214484889/Altitude-e-Geopotencial>>

GEMAEL, C. *Introdução à Geodésia Física*. Curitiba: Editora da UFPR, 2012.

HEISKANEN, W. A. & MORITZ, H. **Physical Geodesy**. San Francisco and London: W. H. Freeman and Company, 364 p., 1967. Disponível em: <https://ia801903.us.archive.org/8/items/HeiskanenMoritz1967PhysicalGeodesy/heiskanen_moritz_1967_physical%20geodesy.pdf>

HOFMANN-WELLENHOF B. & MORITZ, H. **Physical Geodesy**. Ed. Springer-Verlag Wien, 2005.

HUANG, J.; VANÍČEK, P.; PAGIATAKIS, S. D. & BRINK, W. *Effect of topographical density on geoid in the Canadian Rocky Mountains. 2001. Journal of Geodesy* 74, 805-815. 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s001900000145>>

IAG - *International Association of Geodesy*. IAG Resolution No. 1: *Definition and realization of an International Height Reference System (IHR)*. **IAG Resolutions at the XXVI IUGG General Assembly** 2015. München, Germany, 2015. Disponível em: <<https://www.iag-aig.org/doc/5d10c798b5280.pdf>>

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>

_____. REALT. **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais 2018**. 1^o Edição do Relatório, IBGE, Rio de Janeiro - RJ, 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101594.pdf>>

_____. REALT. **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais**. 2^o Edição do Relatório, IBGE, Rio de Janeiro - RJ, 2019. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf>>

IERS - *International Earth Rotation and Reference Systems Service*. IERS Conventions (2010). Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). **IERS Technical Note No. 36**. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6, ISSN: 1019-4568. Disponível em: <<https://iers-conventions.obspm.fr/content/tn36.pdf>>

IGN - *Instituto Geográfico Nacional República Argentina. República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional. Año 2017. Disposición Número: DI-2017-2-APN-IGN#MD. Ciudad de Buenos Aires. 02 de Enero de 2017.* Disponível em: <http://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/DI-2017-00031297-APN-IGNMD.pdf>

INEGI - *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Guía Metodológica para la Generación e Integración de Metadatos Geográficos conforme a la Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos (NTM). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2015. v, 77 p.* Disponível em: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825076962.pdf>

LAGEO. **Laboratório de Pesquisas em Geodésia.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2017. Realiza pesquisas nas linhas de posicionamento e campo de gravidade. Responsável: Prof. Dr. Sergio Florencio de Souza.

LUZ, R. T. **Estratégias para a modernização da componente vertical do sistema geodésico brasileiro e sua integração ao SIRGAS.** Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, UFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná, 2008. Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>

MAUNE, D. F. **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual.** Published by Brand: Asprs Pubns (The Imaging & Geospatial Information Society). 2001.

MELO, L. F. S. **Avaliação de Modelos Globais do Geopotencial para os Estados do Maranhão e Piauí.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, UFPR, 2011. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26868/Dissertacao_Melo_VERSAO_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MORITZ, H. *Geodetic Reference System 1980. Journal of Geodesy*, In: **The Geodesist's Handbook Le Manuel du Géodésien 2000.** Editor: Ole B. Andersen, 2000. Disponível em: <https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/handbook/Handbook_2000.pdf>

PAGIATAKIS, D. & ARMENAKIS, C.; *Gravimetric Geoid Modelling with GIS. International Geoid Service.* Bulletin, 8. 1999.

PAVLIS, N. K.; HOLMES, S. A.; KENYON, S. C. & FACTOR, J. K. **An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, Vienna, Austria,** 2008. Disponível em: <<https://meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU2008/01891/EGU2008-A-01891.pdf>>

PAVLIS, N. K.; HOLMES, S. A.; KENYON, S. C. & FACTOR, J. K. *The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. In: **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**. Wiley Online Library, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2011JB008916>>

SÁNCHEZ, L. **Determinacion de Alturas Físicas em Colombia**. Institut Für Planetare Geodäsie. Technische Universität Dresden. Dresden, 2002. Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Determinacion_de_alturas_fisicas_en_Colombia.pdf>

SÁNCHEZ, L.; SEEMÜLLER, W.; DREWES, H.; MATEO, L.; GONZÁLEZ, G.; SILVA, A.; PAMPILLÓN, J.; MARTINEZ, W.; CIOCE, V.; CISNEROS, D. & CIMBARO S. *Long-Term Stability of the SIRGAS Reference Frame and Episodic Station Movements Caused by the Seismic Activity in the SIRGAS Region*. In: Altamimi Z. and Collilieux X. (Eds.): **Reference Frames for Applications in Geosciences**, IAG Symposia 138: 153-161, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32998-2_24>

SCHWABE, J.; HORWATH, M. & SCHEINERT, M. *The evaluation of the geoid-quasigeoid separation and consequences for its implementation*. **Acta Geodaetica et Geophysica**, 51 (3). pp. 451-466, 2016. ISSN 2213-5812 Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40328-015-0136-2>>

SEIGEL, H. O. **A Guide To High Precision Land Gravimeter Surveys**. 1995. Disponível em: <<https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/Guide-High-Precision-Land-Gravimeter-Surveys.pdf>>

SEVERO, T. C. **Estudo das Altitudes Físicas Aplicado à Rede Altimétrica Fundamental do Brasil no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - PPGSR, UFRGS, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/83292>>

SHARMA, P. *Gravity surveying*. In **Environmental and Engineering Geophysics** (pp. 11-64). 1997. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em: <<https://doi:10.1017/CBO9781139171168.003>>

SIRGAS. **Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas**, 2019. Disponível em: <<http://www.sirgas.org/pt/sirgas-definicion/>>

SJÖBERG, L. E. *The geoid-to-quasigeoid difference using an arbitrary gravity reduction model*. **Stud. Geophys. Geod.**, 56, 929–933. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11200-011-9037-1>>

SJÖBERG, L. E. *On the geoid and orthometric height vs. quasigeoid and normal height*. **Journal of Geodetic Science**. 2018; 8:115-120. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/jogs-2018-0011>>

SJÖBERG, L. E. & BAGHERBANDI, M. *Gravity Inversion and Integration - Theory and Applications in Geodesy and Geophysics*, Publishing company: Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-50298-4.pdf>>

SOARES, J. G. Avaliação de Modelos Globais do Geopotencial em Zonas Costeiras do Brasil. **Simpósio SIRGAS 2021**. Disponível em: <<https://app.ign.gov.pe/simposio/wp-content/uploads/2021/10/Jayne-Gambarine.pdf>>

SOUZA, S. F.; MATSUOKA, M. T.; GÖTZ, J. J. & SEVERO, T. C. Sobre o Novo Modelo do Geopotencial EGM2008. In: **Série em Geomática: 10 anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS**. 1ª Edição. Porto Alegre. Instituto de Geociências, UFRGS, v.2, p.67-73, 2008. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/193430/000677524.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SPG. SECRETARIA de PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL: Porto Alegre. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul**. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental. 5ª Edição: 125 p., 2020. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br>>

TENZER, R. & VANÍČEK, P. *Correction to Helmert's orthometric height due to actual lateral variation of topographical density*. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.55, n. 02, 11. p. 44-47, 2003. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43494/22762>>

TENZER, R.; HIRT, C. H., NOVAK, P. & PITONAK, M. & ŠPLÁK, M. *Contribution of mass density heterogeneities to the quasigeoid-to-geoid separation*. 2016. **Journal of Geodesy**, 90, 65–80 (2016). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00190-015-0858-5>>

TENZER, R.; SIRGUEY P.; RATTENBURY M. & NICOLSON J. *A digital bedrock density map of New Zealand*. **Comput Geosci** 37(8):1181–1191, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.07.010>>

TORRES, S. A. & SOUZA, S. F. Estudo dos Modelos Globais do Geopotencial (EGM2008, XGM2019e E SGG-UGM-2) no Estado do Rio Grande do Sul. 2022. Resumo apresentado na IV Semana dos Pós-graduandos do Instituto de Geociência da UFRGS. **IV-SAPIGEO - Rede para Permanência** – de 14 a 17 de março de 2022. <<https://sapigeo.wixsite.com/sapigeo>>

VERMEER, M. **Physical Geodesy**. 2006. Disponível em: <<https://users.aalto.fi/~mvermeer/mpk-en.pdf>>

WINGE, M. *et al.* **Glossário Geológico Ilustrado**, 2020. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>>

ANEXOS

ANEXO A - SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO 1980 (GRS80)

Sistema de Referência Geodésico 1980 (GRS80)

Defining Constants (exact)

$a = 6378\,137\text{ m}$	semimajor axis
$GM = 3\,986\,005 \times 10^8\text{ m}^3\text{ s}^{-2}$	geocentric gravitational constant
$J_2 = 108\,263 \times 10^{-8}$	dynamic form factor
$\omega = 7\,292\,115 \times 10^{-11}\text{ rad s}^{-1}$	angular velocity

Derived Geometric Constants

$b = 6\,356\,752.3141\text{ m}$	semiminor axis
$E = 521\,854.0097\text{ m}$	linear excentricity
$c = 6\,399\,593.6259\text{ m}$	polar radius of curvature
$e^2 = 0.006\,694\,380\,022\,90$	first excentricity (e)
$e'^2 = 0.006\,739\,496\,775\,48$	second excentricity (e')
$f = 0.003\,352\,810\,681\,18$	flattening
$f^{-1} = 298.257\,222\,101$	reciprocal flattening
$Q = 10\,001\,965.7293\text{ m}$	meridian quadrant
$R_1 = 6\,371\,008.7714\text{ m}$	mean radius
$R_1 = (2a + b)/3$	
$R_2 = 6\,371\,007.1810\text{ m}$	radius of sphere of same surface
$R_3 = 6\,371\,000.7900\text{ m}$	radius of sphere of same volume

Derived Physical Constants

$U_0 = 6\,263\,686.0850 \times 10\text{ m}^2\text{ s}^{-2}$	normal potential at ellipsoid
$J_4 = -0.000\,002\,370\,912\,22$	spherical-harmonic coefficients
$J_6 = 0.000\,000\,006\,083\,47$	
$J_8 = -0.000\,000\,000\,014\,27$	$m = \frac{a^2 b}{GM} \omega^2$
$m = 0.003\,449\,786\,003\,08$	
$\gamma_e = 9.780\,326\,7715\text{ ms}^{-2}$	normal gravity at equator
$\gamma_p = 9.832\,186\,3685\text{ ms}^{-2}$	normal gravity at pole
$f^* = 0.005\,302\,440\,112$	$f^* = \frac{(g_p - g_e)}{g_e}$
$k = 0.001\,931\,851\,353$	$f k^* = \frac{(b g_p - a g_e)}{a g_e}$

Fonte: Moritz (2000).

ANEXO B - PROGRAMAÇÃO EM MATLAB

Programação em MATLAB

```

% Susana Amaral Torres
% BD-MS-GRS80-2019.xlsx: IBGE 2018
% RN, UF, Município, Latitude(°), Longitude(°),
% NUM_GEOPOTENCIAL (m²/S²), ALT_NORMAL Atual (m), ALT_ORTO até 2018 (m),
% Gravidade Medida [Interpolação] (mgal) (mGal), Densidade(km/m³)

clc
close all
format long

%=====
% DADOS
%=====
% Banco de Dados Entrada
NomeEntradaBD='E:\Doc Susana\MATLAB\BD012-MS-GRS80-2020.xlsx';
% Banco de Dados Saída (OUT)
DiretorioOut= 'E:\Doc Susana\001-Mestrado\MATLAB' %pwd
fileOut = 'OutBD012-MSCTCC-GRS80-2020b.xlsx';
sheet = 'Plan1';
sheet2 = 'Altitudes';
sheet3 = 'Alt_Norm';
sheet4 = 'Alt_Orto';

% Arquivo de saída
pathfileOut = strcat(DiretorioOut, '\', fileOut);
[status, msg, msgID] = mkdir(DiretorioOut); % Cria Diretório

% Linhas: 2872 (3 até 2903)
% RNs ==> C=RNs
[num, RNs, raw] = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'B3:B2903');

% Mun ==> D=Municipios
[num, Mun, raw] = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'D3:D2903');

% % NUF ==> B=Unidade Federativa
[num, NUF, raw] = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'C3:C2903');

% UFs ==> B=Unidade Federativa
[num, UFs, raw] = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'C3:C2903');

% E=Latitude(°), F=Longitude(°), G=NUM_GEOPOTENCIAL (m²/s²)
BDLLC = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'E3:G2903');
% H=ALT_NORMAL Atual (m), I=ALT_ORTO até 2018 (m), J=G_Medida+Severo (mGal),
BDHHG = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'H3:J2903');
% K=Densidade (kg/m³) Variável,
% L=Mapgeo2015 (m)
% M=Anomalia da Gravidade EGM2008 - 2160 (m)
% N=Geoide EGM2008 - 2160 (m)
BDDEEN = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'K3:N2903');

%=====
% Extra - não usado pois o resultado do EGM2008 foi melhor
% O=Anomalia da Gravidade XGM2019x - 2160 (m)
% P=Geoide XGM2019e (m)
% Q=Gravity Earth: ICGEM GRS80 EGM2008 - 2160 (mGal)
BDAGX = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'O3:Q2903');
%=====

%=====
% Extra - não usado
% R=BRASIL-UFs (IBGE2001):MDE SRTM RS-LABGEO
BDMDE = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'S3:S2903');
%=====

% Extra - não usado
% S=Anomalia da Gravidade Clássica,
% T=Anomalia da Gravidade
BDAGR = xlsread(NomeEntradaBD, 'plan1', 'T3:U2903');
%=====

%=====
% DADOS CALCULADOS
%=====
% mSize = Numero de Linhas

```

```

% nSize = Numero de colunas
[mSize,nSize] = size(BDLLC);

% i = mSize = Número de linhas
i = mSize; % 2904-1;

        % Mun      = Municipio
        % RNs      = RN
Lat      = BDLLC(:,1); % Latitude(°)
Long     = BDLLC(:,2); % Longitude(°)
C_m2_S2  = BDLLC(:,3); % NUM_GEOPOTENCIAL (m²/s²)

HNorIBGE_m      = BDHHG(:,1);      % ALT_NORMAL Atual (m)
HNorIBGE_Km     = HNorIBGE_m/1000;  % ALT_NORMAL Atual (km)
HOrt2018_m      = BDHHG(:,2);      % ALT_ORTO até 2018 (m)
HOrt2018_Km     = HOrt2018_m/1000;  % ALT_ORTO até 2018 (km)
GMedmGal       = BDHHG(:,3);      % Gravidade Medida [Interpolação] (mgal)
% mGal para Gal
GMed_Gal       = GMedmGal/1000;    % Gravidade Medida [Interpolação] (gal)
% mGal para m_s2
GMedm_s2       = GMedmGal*10^-5;    % Gravidade Medida [Interpolação] (m_s2)

% Densidade Variável
DenKg_m3       = BDDEN(:,1);      % Densidade (kg/m³) Variável
Den_g_cm3      = DenKg_m3*10^(-3); % Densidade (g/cm³) Variável
% Densidade Constante
DenCteKg_m3    = 2670;            % Densidade (kg/m³) Constante
DenCte_g_cm3   = 2670*10^(-3);    % Densidade (g/cm³) Constante

% Geoide MapGeo2015
G_MapGeo2015_m = BDDEN(:,2);      % Geoide IBGE 2019(m)
% Quase-Geoide EGM2008 & Geoide EGM2008
QG_EGM2008_GRS80_m = BDDEN(:,3); % GRS80 EGM2008 2160 Quase-Geoide Anomalia da Altura (m)
G_EGM2008_GRS80_m = BDDEN(:,4);  % GRS80 EGM2008 2160 Geoide Ondulação Geoidal (m)

% Quase-Geoide XGM2019e & Geoide XGM2019e
QG_XGM2019e_m = BDAGX(:,1);      % GRS80 XGM2019e 2160 Quase-Geoide Anomalia da Altura (m)
G_XGM2019e_m = BDAGX(:,2);      % GRS80 XGM2019e 2160 Geoide Ondulação Geoidal (m)

GrEa_EGM2008_mGal = BDAGX(:,3);  % GRS80 EGM2008 2160 Gravity Earth (mGal)
% mGal para Gal
GrEa_EGM2008_Gal = GrEa_EGM2008_mGal/1000; % GRS80 EGM2008 2160 Gravity Earth
[Interpolação] (gal)
% mGal para m_s2
GrEa_EGM2008m_s2 = GrEa_EGM2008_mGal*10^-5; % GRS80 EGM2008 2160 Gravity Earth
[Interpolação] (m_s2)

% GravMedEarth=[GMed_Gal GrEa_EGM2008_Gal]
GravMedEarth=[GMed_Gal GrEa_EGM2008_Gal];
% Diferença da Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída: GMed_Gal - GrEa_EGM2008_Gal
Df_GMed_GrEaEGM2008_Gal= GMed_Gal-GrEa_EGM2008_Gal;

% Cálculo
% Diferença da Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída
Df_GMed_GrEaEGM2008_mGal= GMedmGal-GrEa_EGM2008_mGal;

%=====
% Extra - não usado
% Altura MDE RS LAGBGE0
HMDEERS_GRS80_m = BDMDE(:,1);    % MDE SRTM RS-LAGBGE0 (m)
%=====

%=====
% Extra - não usado
% Anomalia da Gravidade Clássica, Anomalia da Gravidade
AnGv_C1_mGal = BDAGR(:,1);      % Anomalia da Gravidade Clássica
AnGv_mGal = BDAGR(:,2);        % Anomalia da Gravidade
%=====

% ***** Parâmetros GRS80
a_m = 6378137;                  % semi-eixo maior (m)
a_Cm = 100*a_m;                % semi-eixo maior (cm)
b_m = 6356752.3141;            % semi-eixo menor (m)
e2 = 0.00669438002290;         % e² = excentricidade ao quadrado
% Achatamento = 298.257222101
f = 1/298.257222101;
alfa = f;

```

```

% Gravidade normal no equador
gem_s2 = 9.7803267715; % (m/s2)
geGal = 100 * gem_s2; % (Gal)
% Gravidade normal nos pólos
gpm_s2 = 9.8321863685; % (m/s2)
gpGal = 100 * gpm_s2; % (Gal)
% Relação entre a força centrífuga
% no equador e a gravidade normal equatorial
m = 0.00344978600308;

beta = 0.00530244011200; % beta
Csi = -0.0000058; % csi
% Constante Gravitacional Geocêntrica incluindo a Atmosfera m³/s²
GM = 3.98601E+20;
% Velocidade Ângular da Terra rad/s
omega = 7.29212E-05; % omega
omega2=omega^2; % omega ao quadrado
% Altitude Média
MLat = mean(Lat);

k = ((b_m*gpm_s2)/(a_m*gem_s2))-1;
% g45° (m/s2)
gom_s2 = gem_s2*((1+k*(sind(MLat))^2)/sqrt(1-e2*(sind(MLat))^2));
go45m_s2 = gem_s2*((1+k*(sind(45))^2)/sqrt(1-e2*(sind(45))^2));
% g45° (cm/s2)
gocm_s2 = gom_s2*100;
go45cm_s2 = go45m_s2*100;
% g45° (mGal)
go_mGal = gom_s2*10^5;
go_Gal = gom_s2*10^2;

go45_mGal = go45m_s2*10^5;
go45_Gal = go45m_s2*10^2;

goGal = 100 * gom_s2; % (Gal)
% c'
cLin = (omega^2*a_Cm^3)/GM;
% alfa'
alfaLin = beta/(2+beta+2*Csi);
% kapa
kapa = (-2*Csi)/(2+beta+2*Csi);
d3 = (3*f-2.5*cLin)/2;
t2 = (2*(1+f+cLin))/(a_Cm*(1+(beta/2)+Csi));
t3 = 1-d3;
t4 = 1-t3;
% Um minuto em graus
minGraus=1/60;
% Arco Um minuto em radianos
Q = minGraus*pi()/180;
% *****
% Coeficientes do campo de gravidade normalPina et al. 2006
C1=0.0053023655;
C2=-0.0000059;
% ***** Constantes
% Constante Gravitacional Universal (m3/kgs2)
G = 6.67408*10^-11; % (m3/kgs2)
% Gradiente LinearNormal (dg/dh) (mGal/m)
dg_dh = -0.3086; % (mGal/m)
% redução de Poincaré-Prey (Densidade Constante)
RedPP_DC = 0.0424;
% redução de Poincaré-Prey (Densidade Variável)
RedPP_DV = ( dg_dh / 2 ) + ( 2 * pi() * G * DenKg_m3 * 10^5 );
% *****

% Gravidade Observada
GMed = [GMedmGal GMed_Gal GMedm_s2];
% *****
% #####

%===== Vignal ===== % (mGal/m)
RedVignal_DC = -0.3086/2; %-(0.3086*10^(-5))/2;
%===== Free Air ===== % (mGal/m)
RedFreeAir_DC = 0.3086/2; % (0.3086*10^(-5))/2;
%===== Bomford ===== % (mGal/m)
RedBomford_DC = -0.3086/2; % -(3.086*10^(-6))/2;
%===== Ramsayer ===== % (mGal/m)

```

```

RedRamsayer_A = -0.3086/2;      % -(3.086*10^(-6))/2;
RedRamsayer_B = -0.0418/2;      % -(0.418*10^(-6))/2;

%gio_Ram = (GMedm_s2 + )

% Distúrbio da Gravidade
% dg = 0.3086*H + 0.3086*N = Delta_g + Disturbio_g
Delta_g = 0.3086*HNorIBGE_m;
Disturbio_g = 0.3086*G_MapGeo2015_m;
% #####
% Gravidade Normal do ponto - Somigliana Simples [SS]
% m/s2 : Somigliana Simples [SS] ##### ADOTADO PELO IBGE #####
gnSSm_s2 = gem_s2 * ( (1+k*(sind(Lat)).^2) ./ sqrt(1-e2*(sind(Lat)).^2));
gnSS_Gal = gnSSm_s2*10^2;      % Gal
gnSS_mGal = gnSSm_s2*10^5;      % mGal
gnSS = [gnSS_mGal gnSS_Gal gnSSm_s2];
% #####
% Gravidade Normal Média do ponto - Somigliana Simples [SS]
% m/s2
gnMedSSm_s2 = gnSSm_s2 .* ( 1 - (1+alfa+m-2*alfa*(sind(Lat)).^2).*(HNorIBGE_m/a_m) +
(HNorIBGE_m.^2/a_m^2) ) ;
% mGal
gnSSMed_mGal = gnMedSSm_s2*10^5;

% #####
% Gravidade Normal do ponto - Somigliana Completa [SC]
% m/s2 : Somigliana Completa [SC]
gnSCm_s2 = ((a_m*gem_s2*(cosd(Lat)).^2)+(b_m*gpm_s2*(sind(Lat)).^2)) ./
sqrt((a_m.^2*(cosd(Lat)).^2)+(b_m.^2*(sind(Lat)).^2));
gnSC_Gal = gnSCm_s2*10^2;      % Gal
gnSC_mGal = gnSCm_s2*10^5;      % mGal
gnSC = [gnSC_mGal gnSC_Gal gnSCm_s2];
% #####
% Gravidade Normal Média do ponto - Somigliana Completa [SS]
% m/s2
gnMedSCm_s2 = gnSCm_s2 .* ( 1 - (1+alfa+m-2*alfa*(sind(Lat)).^2).*(HNorIBGE_m/a_m) +
(HNorIBGE_m.^2/a_m^2) ) ;
% mGal
gnSCMed_mGal = gnMedSCm_s2*10^5;
% #####

% H Ortométrica Calculada (m)
HOrtCalc_m = C_m2_s2 ./ GMedm_s2;
HOrtCalc_Km = HOrtCalc_m/1000;      % ALT_ORTO CALCULADA (km)

% #####

%==== Baranov mgal/m = gal*10^3/m = gal/m*10^-3 = gal/km
% Somigliana Simples [SS]
GDCSSbv_Med_mGal = (GMedmGal+gnSS_mGal)/2;
GDCSSbv_Medm_s2 = GDCSSbv_Med_mGal*10^(-5);
GDCSSbv_Med_Gal = GDCSSbv_Med_mGal*10^(-3);
GDCSSbv = [ GDCSSbv_Med_mGal GDCSSbv_Med_Gal GDCSSbv_Medm_s2];
% Somigliana Completa [SC]
GDCSCbv_Med_mGal = (GMedmGal+gnSC_mGal)/2;
GDCSCbv_Medm_s2 = GDCSCbv_Med_mGal*10^(-5);
GDCSCbv_Med_Gal = GDCSCbv_Med_mGal*10^(-3);
GDCSCbv = [ GDCSCbv_Med_mGal GDCSCbv_Med_Gal GDCSCbv_Medm_s2];
%====

%==== Baranov mgal/m = gal*10^3/m = gal/m*10^-3 = gal/km
% Somigliana Simples [SS]
GDVSSbv_Med_mGal = (GMedmGal+gnSS_mGal)/2;
GDVSSbv_Medm_s2 = GDVSSbv_Med_mGal*10^(-5);
GDVSSbv_Med_Gal = GDVSSbv_Med_mGal*10^(-3);
GDVSSbv = [ GDVSSbv_Med_mGal GDVSSbv_Med_Gal GDVSSbv_Medm_s2];
% Somigliana Completa [SC]
GDVSCbv_Med_mGal = (GMedmGal+gnSC_mGal)/2;
GDVSCbv_Medm_s2 = GDVSCbv_Med_mGal*10^(-5);
GDVSCbv_Med_Gal = GDVSCbv_Med_mGal*10^(-3);
GDVSCbv = [ GDVSCbv_Med_mGal GDVSCbv_Med_Gal GDVSCbv_Medm_s2];
%====

% #####
% ##### CÁLCULOS
% #####

```

```

% =====
% ( 2 * pi * G * DenKg_m3 ) / (gnSSm_s2 [Somigliana Simples [SS]])
% ### Densidade Constante
P2GDcTe_gnSS = (2*pi*G*DenCteKg_m3) ./ (gnMedSSm_s2);
% ### Densidade Variável
P2GD_gnSS = (2*pi*G*DenKg_m3) ./ (gnMedSSm_s2);

% ( 2 * pi * G * Densidade ) / (gnSCm_s2 [Somigliana Completa [SS]])
% ### Densidade Constante
P2GDcTe_gnSC = (2*pi*G*DenCteKg_m3) ./ (gnMedSCm_s2);
% ### Densidade Variável
P2GD_gnSC = (2*pi*G*DenKg_m3) ./ (gnMedSCm_s2);
% =====

% Gravidade Calculada a partir
gCalc_m_s2 = C_m2_S2 ./ HNorIBGE_m; % Gravidade Calculada em m/s²
gCalc_Gal = gCalc_m_s2 * 100; % Gravidade Calculada em Gal
gCalc_mGal = gCalc_m_s2 * 100000; % Gravidade Calculada em mGal
% Diferença entre Gravidade Medida e Gravidade Calculada
D_GMed_gCalc_mGal = GMedmGal - gCalc_mGal; % GMedmGal - gCalc_mGal

% =====
% =====
% H Normal Somigliana Calculada (m)
HNorSSCalc_m = C_m2_S2 ./ gnMedSSm_s2;
HNorCalc_Km = HNorSSCalc_m/1000; % ALT_NOR SS CALCULADA (km)
% H Normal Somigliana Completa Calculada (m)
HNorSCCalc_m = C_m2_S2 ./ gnMedSCm_s2;
HNorSCCalc_Km = HNorSCCalc_m/1000; % ALT_NOR SC CALCULADA (km) HNorSCCalc_Km
= HNorSCCalc_m/1000; % ALT_NOR SC CALCULADA (km)

% ### DH Ortométrica 2018: (?gB.HOrto2018)/gn [D Cte] e [D]
DH_HOrto2018DC = - P2GDcTe_gnSC .* HOrt2018_m; % ### D (HNorIBGE-HOrto) & Densidade
Constante
DH_HOrto2018DV = - P2GD_gnSC .* HOrt2018_m; % ### D (HNorIBGE-HOrto) & Densidade
Variável
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HOrto2018_m = HNorIBGE_m - HOrt2018_m; % ### D (HNorIBGE-HOrto)

D_HOrto2018_HNorIBGE_m = HOrt2018_m - HNorIBGE_m; % ### D (HOrto-HNorIBGE)

% ### DH Ortométrica Calculada: (?gB.HOrtoCalc)/gn [D Cte] e [D]
DH_HOrtoCalcDC = - P2GDcTe_gnSC .* HOrtCalc_m; % ### D (HNorIBGE-HOrto Calculada) &
Densidade Constante
DH_HOrtoCalcDV = - P2GD_gnSC .* HOrtCalc_m; % ### D (HNorIBGE-HOrto Calculada) &
Densidade Variável
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HOrtoCalc_m = HNorIBGE_m - HOrtCalc_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoCalc)
D_HOrtoCalc_HNorIBGE_m = HOrtCalc_m - HNorIBGE_m; % ### D (HOrtoCalc-HNorIBGE)

DO_HOrtoCalc_HOrto2018_m = HOrtCalc_m - HOrt2018_m; % ### D (HOrtoCalc-HOrto2018)

% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Helmert
% ALT_Helmert ? ALT_Heiskanen&Moritz (m)
% === Densidade Constante ===
% RedPP_DC = 0.0424;
% ((-GMed_Gal+RAIZ(GMed_Gal^2-4*RedPP_DC*(-C_m2_S2/10)))/(2*RedPP_DC))*1000
% GMed_Gal
HOrtoDCHe_m = ((-GMed_Gal+sqrt(GMed_Gal.^2-4*RedPP_DC*(-C_m2_S2/10)))/(2*RedPP_DC))*1000;
% GrEa_EGM2008_Gal
HOrtoDCHeGrEa_m = ((-GrEa_EGM2008_Gal+sqrt(GrEa_EGM2008_Gal.^2-4*RedPP_DC*(-
C_m2_S2/10)))/(2*RedPP_DC))*1000;
% Cálculo
% Diferença Altitude Ortométrica [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída]
Df_HOrtoDCHe_GMed_GrEa_m = HOrtoDCHe_m - HOrtoDCHeGrEa_m;
Df_HOrtoDCHe_GrEa_GMed_m = HOrtoDCHeGrEa_m - HOrtoDCHe_m;

% === Densidade Variável ===
% RedPP_DV = ( dg_dh / 2 ) + ( 2 * pi() * G * DenKg_m3 * 10^5 );
% dg_dh = -0.3086; % (mGal/m)
% RedPP_DV = ( dg_dh / 2 ) + ( 2 * pi() * G * DenKg_m3 * 10^5 );
% G = 6.67408*10^-11; % (m3/kgs2)
% ((-GMed_Gal+RAIZ(GMed_Gal^2-4*RedPP_DV*(-C_m2_S2/10)))/(2*RedPP_DV))*1000

```



```

% GMed_Gal
HOrtoDVHe_m = ((-GMed_Gal + sqrt(GMed_Gal.^2 - 4*RedPP_DV.*(-C_m2_S2/10))) / (2*RedPP_DV)) * 1000;
% GrEa_EGM2008_Gal
HOrtoDVHeGrEa_m = ((-GrEa_EGM2008_Gal + sqrt(GrEa_EGM2008_Gal.^2 - 4*RedPP_DV.*(-C_m2_S2/10))) / (2*RedPP_DV)) * 1000;
% Cálculo
% Diferença Altitude Ortométrica [Gravidade Medida - Gravidade Reconstituída]
Df_HOrtoDVHe_GMed_GrEa_m = HOrtoDVHe_m - HOrtoDVHeGrEa_m;
Df_HOrtoDVHe_GrEa_GMed_m = HOrtoDVHeGrEa_m - HOrtoDVHe_m;

% Diferença Altitude Ortométrica [Gravidade Medida]
Df_HOrtoDVDCHe_GMed_m = HOrtoDVHe_m - HOrtoDCHe_m;
% Diferença Altitude Ortométrica [Gravidade Reconstituída]
Df_HOrtoDVDCHe_GrEa_m = HOrtoDVHeGrEa_m - HOrtoDCHeGrEa_m;

% =====
D_DCte_HOrtoHe_m = HOrtoDVHe_m - HOrtoDCHe_m;
% =====

% ### DH Ortométrica Helmert
DH_HOrtoDCHe = - P2GDcte_gnSC .* HOrtoDCHe_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDCHe) & Densidade
Constante
DH_HOrtoDVHe = - P2GD_gnSC .* HOrtoDVHe_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDVHe) & Densidade
Variável
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HOrtoDCHe_m = HNorIBGE_m - HOrtoDCHe_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDCHe) &
Densidade Constante
D_HOrtoDCHe_HNorIBGE_m = HOrtoDCHe_m - HNorIBGE_m; % ### D (HOrtoDCHe-HNorIBGE)
& Densidade Constante
D_HNorIBGE_HOrtoDVHe_m = HNorIBGE_m - HOrtoDVHe_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDVHe) &
Densidade Variável
D_HOrtoDVHe_HNorIBGE_m = HOrtoDVHe_m - HNorIBGE_m; % ### D (HOrtoDVHe-HNorIBGE)
& Densidade Variável

DO_HOrtoCalc_HOrtoDCHe_m = HOrtCalc_m - HOrtoDCHe_m; % ### D (HOrtoCalc-HOrtoDCHe)
DO_HOrtoCalc_HOrtoDVHe_m = HOrtCalc_m - HOrtoDVHe_m; % ### D (HOrtoCalc-HOrtoDVHe)

% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Free-Air
% ALT_Free-Air (m) => Densidade Constante
% ((-AX2795+RAIZ(AX2795^2-4*0,1543*(-AA2795/10)))/(2*0,1543))*10000
HOrtoCalcDCFr_m = ((-GMed_Gal + sqrt(GMed_Gal.^2 - 4*RedFreeAir_DC.*(-C_m2_S2/10))) / (2*RedFreeAir_DC)) * 1000;
% =====

% ### DH Ortométrica Free-Air
DH_HOrtoDCFr = - P2GDcte_gnSC .* HOrtoCalcDCFr_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDCFr) &
Densidade Constante
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HOrtoDCFr_m = HNorIBGE_m - HOrtoCalcDCFr_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoDCFr)
& Densidade Constante
D_HOrtoDCFr_HNorIBGE_m = HOrtoCalcDCFr_m - HNorIBGE_m; % ### D (HOrtoDCFr-
HNorIBGE) & Densidade Constante

DO_HOrtoCalc_HOrtoDCFr_m = HOrtCalc_m - HOrtoCalcDCFr_m; % ### D (HOrtoCalc-
HOrtoDCFr)

% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Vignal
% ALT_VignalSS (m)
% Densidade Constante SS = Somigliana Simples
% ((-AX2795+RAIZ(AX2795^2-4*0,1543*(-AA2795/10)))/(2*0,1543))*10000
HNorCalcSSVg_m = ((-gnSS_Gal + sqrt(gnSS_Gal.^2 - 4*RedVignal_DC.*(-C_m2_S2/10))) / (2*RedVignal_DC)) * 1000;
% =====

% ### DH Normal Vignal
DH_HNorSSVg = - P2GDcte_gnSC .* HNorCalcSSVg_m; % ### D (HNorIBGE-HNorSSVg) & Densidade
Constante
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HNorSSVg_m = HNorIBGE_m - HNorCalcSSVg_m; % ### D (HNorIBGE-HNorSSVg) &
Densidade Constante
D_HNorSSVg_HNorIBGE_m = HNorCalcSSVg_m - HNorIBGE_m; % ### D (HNorSSVg-HNorIBGE)
& Densidade Constante

```

```

DO_HOrtoCalc_HNorSSVg_m = HOrtCalc_m - HNorCalcSSVg_m;          % ### D (HOrtoCalc-HNorVg)
% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Vignal
% ALT_VignalSC (m)
% Densidade Constante SC = Somigliana Completa
% ((-AX2795+RAIZ(AX2795^2-4*0,1543*(-AA2795/10)))/(2*0,1543))*10000
HNorCalcSCVg_m=((-gnSC_Gal+sqrt(gnSC_Gal.^2-4*RedVignal_DC*(-
C_m2_S2/10)))/(2*RedVignal_DC))*1000;
% =====
% ### DH Normal Vignal
DH_HNorSCVg = - P2GDCte_gnSC .* HNorCalcSCVg_m; % ### D (HNorIBGE-HNorSCVg) & Densidade
Constante
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HNorSCVg_m = HNorIBGE_m - HNorCalcSCVg_m; % ### D (HNorIBGE-HNorSCVg) &
Densidade Constante
D_HNorSCVg_HNorIBGE_m = HNorCalcSCVg_m - HNorIBGE_m; % ### D (HNorSCVg-HNorIBGE)
& Densidade Constante

DO_HOrtoCalc_HNorSCVg_m = HOrtCalc_m - HNorCalcSCVg_m;          % ### D (HOrtoCalc-HNorSCVg)
% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Bomford
% ALT_Bomford(m) => Densidade Constante
% ((-AX2795+RAIZ(AX2795^2-4*(0,1543)*(-AA2795/10)))/(2*-0,1543))*10000
HNorCalcDCBo_m=((go45_Gal+sqrt(go45_Gal.^2-4*RedBomford_DC*(-
C_m2_S2/10)))/(2*RedBomford_DC))*1000;
% =====
% ### DH Normal Bomford
DH_HNorDCBo = - P2GDCte_gnSC .* HNorCalcDCBo_m; % ### D (HNorIBGE-HNorDCBo) & Densidade
Constante
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HNorDCBo_m = HNorIBGE_m - HNorCalcDCBo_m; % ### D (HNorIBGE-HNorDCBo) &
Densidade Constante
D_HNorDCBo_HNorIBGE_m = HNorCalcDCBo_m - HNorIBGE_m; % ### D (HNorDCBo-HNorIBGE)
& Densidade Constante

DO_HOrtoCalc_HNorDCBo_m = HOrtCalc_m - HNorCalcDCBo_m;          % ### D (HOrtoCalc-HNorDCBo)
% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Dinâmica
% ALT_Dinamica (m)
% Densidade Constante
% =AA3/AL3
HDinamica_m = C_m2_S2 ./ go45m_s2; % ### ALT_Dinamica (m)
% =====
% ### DH Dinâmica
DH_HDinamica = - P2GDCte_gnSC .* HDinamica_m; % ### D (HNorIBGE-HDinamica) & Densidade
Constante
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HDinamica_m = HNorIBGE_m - HDinamica_m; % ### D (HNorIBGE-HDinamica) &
Densidade Constante
D_HDinamica_HNorIBGE_m = HDinamica_m - HNorIBGE_m; % ### D (HDinamica-HNorIBGE)
& Densidade Constante

DO_HOrtoCalc_HDinamica_m = HOrtCalc_m - HDinamica_m;          % ### D (HOrtoCalc-HDinamica)
% =====
% =====
% Cálculo da Altitude Bavarov
% ALT_Bavarov (m)
% Densidade Constante
% =AA3/AL3
HOrtoSSBv_m = C_m2_S2 ./ GDCSSbv_Medm_s2; % ### ALT_Bavarov (m) Somigliana Simples
HOrtoSCBv_m = C_m2_S2 ./ GDCSCbv_Medm_s2; % ### ALT_Bavarov (m) Somigliana Completa
% =====
% =====

```

```

% ### DH Ortométrica Bavarov
DH_HOrtoSSBv = -P2GDCte_gnSC .* HOrtoSSBv_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSSBv) Somigliana
Simples
DH_HOrtoSCBv = -P2GDCte_gnSC .* HOrtoSCBv_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSSBv) Somigliana
Completa
% Para comparar com:
D_HNorIBGE_HOrtoSSBv_m = HNorIBGE_m - HOrtoSSBv_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSSBv)
Somigliana Simples
D_HOrtoSSBv_HNorIBGE_m = HOrtoSSBv_m - HNorIBGE_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSSBv)
Somigliana Simples
D_HNorIBGE_HOrtoSCBv_m = HNorIBGE_m - HOrtoSCBv_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSCBv)
Somigliana Completa
D_HOrtoSCBv_HNorIBGE_m = HOrtoSCBv_m - HNorIBGE_m; % ### D (HNorIBGE-HOrtoSCBv)
Somigliana Completa

DO_HOrtoCalc_HOrtoSSBv_m = HOrtCalc_m - HOrtoSSBv_m; % ### D (HOrtoCalc-HOrtoSSBv_m)
DO_HOrtoCalc_HOrtoSCBv_m = HOrtCalc_m - HOrtoSCBv_m; % ### D (HOrtoCalc-HOrtoSCBv_m)
% =====

% #####
% Anomalia da Altitude (Quase-Geoide) - MapGeo2015 (Geoide)
QGEGM2008_GMapGeo = QG_EGM2008_GRS80_m - G_MapGeo2015_m;
% MapGeo2015 (Geoide) - Anomalia da Altitude (Quase-Geoide)
GMapGeo_QGEGM2008 = G_MapGeo2015_m - QG_EGM2008_GRS80_m;
% EGM2008 (Geoide) - MapGeo2015 (Geoide)
GEGM2008_GMapGeo = G_EGM2008_GRS80_m - G_MapGeo2015_m;
% MapGeo2015 (Geoide) - Anomalia da Altitude (Quase-Geoide)
GMapGeo_GEGM2008 = G_MapGeo2015_m - G_EGM2008_GRS80_m;
% Anomalia da Altitude EGM2008 (Quase-Geoide) - Geoide EGM2008
QG_G_EGM2008 = QG_EGM2008_GRS80_m - G_EGM2008_GRS80_m;
% =====

% =====
% #####
% Diferença Altitudes Normal Calculada Somigliana [Completa-Simples]:
% HNorSSCalc_m-HNorSSCalc_m
D_HNorCalc_SC_SS_m = HNorSSCalc_m - HNorSSCalc_m;

% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Normal IBGE:
% HNorSSCalc_m-HNorIBGE_m
D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m = HNorSSCalc_m - HNorIBGE_m;
% HNorSSCalc_m-HNorIBGE_m
D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m = HNorSSCalc_m - HNorIBGE_m;

% #####
% #####
% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Ortométrica Calculada:
% HNorSSCalc_m-HOrtCalc_m
D_HNorSSCalc_HOrtCalc_m = HNorSSCalc_m - HOrtCalc_m;
% HNorSSCalc_m-HOrtCalc_m
D_HNorSSCalc_HOrtCalc_m = HNorSSCalc_m - HOrtCalc_m;

% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Ortométrica Helmert DCte:
% HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m = HNorSSCalc_m - HOrtoDCHe_m;
% HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m = HNorSSCalc_m - HOrtoDCHe_m;

% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Ortométrica Helmert DVar:
% HNorSSCalc_m-HOrtoDVHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m = HNorSSCalc_m - HOrtoDVHe_m;
% HNorSSCalc_m-HOrtoDVHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m = HNorSSCalc_m - HOrtoDVHe_m;

% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Ortométrica Bavarov
% SS Somigliana Simples
% HNorSSCalc_m-HOrtoSSBv_m
D_HNorSSCalc_HOrtoSSBv_m = HNorSSCalc_m - HOrtoSSBv_m;
% SC Somigliana Completa
% HNorSSCalc_m-HOrtoSCBv_m
D_HNorSSCalc_HOrtoSCBv_m = HNorSSCalc_m - HOrtoSCBv_m;

% Diferença Altitudes: Normal Calculada - Ortométrica Free-Air:
% HNorSSCalc_m-HOrtoDCFr_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCFr_m = HNorSSCalc_m - HOrtoCalcDCFr_m;
% HNorSSCalc_m-HOrtoDCFr_m

```

```

D_HNorSCCalc_HOrtoDCFr_m = HNorSCCalc_m - HOrtoCalcDCFr_m;

% Diferença Altitudes: Normal Vignal - Normal IBGE:
% HNorCalcSSVg_m-HNorIBGE_m
D_HNorCalcSSVg_HNorIBGE_m = HNorCalcSSVg_m - HNorIBGE_m;
% HNorCalcSCVg_m-HNorIBGE_m
D_HNorCalcSCVg_HNorIBGE_m = HNorCalcSCVg_m - HNorIBGE_m;

% Diferença Altitudes: Normal Bomford - Normal IBGE:
% HNorCalcDCBo_m-HNorIBGE_m
D_HNorCalcDCBo_HNorIBGE_m = HNorCalcDCBo_m - HNorIBGE_m;

% =====
% #####
% #####
% Diferença Altitudes: Normal IBGE - MDE_RS_GRS80_m:
% HNorIBGE_m-HMDERS_GRS80_m
D_HNorIBGE_HMDERS_GRS80_m = HNorIBGE_m - HMDERS_GRS80_m;

% Diferença Altitudes: Ortométrica Helmert Cte : HOrtoDChE_m - MDE_RS_GRS80_m:
% HOrtoDChE_m-HMDERS_GRS80_m
D_HOrtoDChE_HMDERS_GRS80_m = HOrtoDChE_m - HMDERS_GRS80_m;
% Diferença Altitudes: Ortométrica Helmert DVar: HOrtoDVHe_m - MDE_RS_GRS80_m:
% HOrtoDVHe_m-HMDERS_GRS80_m
D_HOrtoDVHe_HMDERS_GRS80_m = HOrtoDVHe_m - HMDERS_GRS80_m;

% =====
% ##### *****
% ##### ***** Apresentação Visual *****
% ##### *****
x=1:i;
xt=x';

% Create a figure and axes
figu = figure('Visible','off');
ax = gca; % current axes
ax.Position=[0.12 0.3 0.65 0.65];
%ax.XAxisLocation = 'top';
ax.Box = 'off';

%Logo = importdata('sat2018-D.jpg');
%image(Logo)
Logo = importdata('Clip-C-m2_s2_00_GoogleTerrain.jpg'); % RRNN-GravidadeMedida-02
image(Logo) % RRNN-Google-4 RS-QGIS-RRNN-MS-02

%%text(00,380,'Dens.Constante (Cor)', 'HorizontalAlignment','left')
%%text(00,360,'Dens.Variável (Preto)', 'HorizontalAlignment','left')

%title(' ')
%xlabel(' ')
%ylabel('Gravidade/Correção v.s. RN')
%plot(GMed_Gal)

% Create pop-up menu
% popup = uicontrol('Style', 'popup',...
% 'String', {'Dens.Constante (Cor)', 'Dens.Variável (Preto)'},...
% 'Position', [80 380 130 20],...
% 'Callback','');

% Create Listbox
% hListbox = uicontrol('Style','list', 'Max',2,...
% 'Position', [80 20 400 20],...
% 'String',{'DensCta:Cor','DensVar:Preto'});
% set(hListbox,'Value',[]); % this is ok - listbox appears with no items selected

%btn01
% Make figure visble after adding all components
figu.Visible = 'on';
% This code uses dot notation to set properties.
% Dot notation runs in R2014b and later.
% For R2014a and earlier: set(f,'Visible','on');

```

```

% #####
% #####
% Início planilha: A1
SaidaCab = {'Município','UF','RN',...
'Lat.(°)','Long.(°)','C (m²/S²)','Altitude Normal [IBGE] (m)','HOrto2018 (m)','HOrtoCalc
(m)',...
'Gravidade Medida (mGal)','GravMedida (Gal)','GravMedida (m/s²)',...
'Densidade (kg/m³)','Poincaré-Prey','GravNorSS (m/s²)','GravNorSC (m/s²)',...
'(2.PI.G.D[Cte])/(GravNorSS) [1/m]','(2.PI.G.D)/(GravNorSS) [1/m]',...
'(2.PI.G.D[Cte])/(GravNorSC) [1/m]','(2.PI.G.D)/(GravNorSC) [1/m]',...
'(DgB.HOrto2018)/gn [Orto2018 D Cte]','(DgB.HOrto2018)/gn [Orto2018 D]','(DgB.HOrtoCalc)/gn
[OrtoCalc. D.Cte]','(DgB.HOrtoCalc)/gn [OrtoCalc. D]',...
'Altitude Ortométrica Helmert [Densidade Constante] (m)','(DgB.HOrtoHeCalc)/gn [Helmert
D.Cte]',...
'Altitude Ortométrica Helmert [Densidade Variável] (m)','(DgB.HOrtoHeCalc)/gn [Helmert
D]',...
'HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)','(DgB.HOrtoDCFrCalc)/gn [Free-Air D.Cte]',...
'Grav.Média Bavarov [SS] (Gal)','HOrto.Bavarov [SS] (m)','(DgB.HOrtoSSBvCalc)/gn [Bavarov
SS]',...
'Grav.Média Bavarov [SC] (Gal)','HOrto.Bavarov [SC] (m)','(DgB.HOrtoSCBvCalc)/gn [Bavarov
SC]',...
'HNorIBGE - HOrto2018 (m)','HNorIBGE - HOrto.Calc (m)','HNorIBGE - HOrto.Helmert [D.Cte]
(m)',...
'HNorIBGE - HOrto.Helmert [D] (m)','HNorIBGE - HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)','HNorIBGE -
HOrto.Bavarov [SS] (m)',...
'HNorIBGE - HOrto.Bavarov [SC] (m)','HOrtoCalc - HOrto2018 (m)','HOrtoCalc - HOrtoDChE
(m)',...
'HOrtoCalc - HOrtoDVHe (m)','HOrtoCalc - HOrtoDCFr (m)','HOrtoCalc - HOrtoSSBv (m)',
'HOrtoCalc - HOrtoSCBv (m)',...
'Anomalia de Altitude EGM2008 GRS80 (m)','G MapGeo2015 (m)','QG EGM2008 GRS80 - G
MapGeo2015 (m)',...
'G MapGeo2015 - QG EGM2008 (m)','QG EGM2008 - G EGM2008','G EGM2008 - G MapGeo2015 (m)',...
'G MapGeo2015 - G EGM2008 (m)','HOrto.Helmert [D] - HOrto.Helmert [D.Cte] (m)','HNorSSCalc
- HNorSSCalc (m)',...
'HNorSSCalc (m)','HNorSSCalc - HNorIBGE (m)','HNorSSCalc - HOrtCalc (m)','Altitude Normal
[IBGE] (m)','HOrtoCalc (m)',...
'HNorSSCalc (m)','HNorSSCalc - HNorIBGE (m)','HNorSSCalc - HOrtCalc (m)',...
'HNorIBGE - HOrtoCalc (m)','GravCalc (mGal)','GravMed - GravCalc (mGal)',...
'Gravidade Medida (mGal)','GravNorSS (mGal)','GravNorSC (mGal)',...
'[HNorIBGE-HMDERS (m)]','[HOrtoDChE-HMDERS (m)]','[HOrtoDVHe-HMDERS (m)]','HMDERS (m)',...
'Anomalia de Altitude EGM2008 GRS80 (m)','Ondulação Geoidal EGM2008 GRS80 (m)','QG XGM2019e
GRS80 (m)','G XGM2019e GRS80 (m)',...
'Gravidade EGM2008 GRS80 (mGal)','Dif. [GravMedida-GravEGM2008] (mGal)','G=Ondulação Geoidal;
QG=Anomalia de Altitude; SS=Somigliana Simples; SC=Somigliana Completa; D.Cte=Densidade
Constante; D=Densidade Variável;}};

% , 'gnSSm_s2','gnSCm_s2',...
% 'GRDCNor_Med_mGal','GRDVNor_Med_mGal','GRDCOrt_Med_mGal','GRDVOrt_Med_mGal'

% #####
% #####

% #####
% #####
% Início planilha: A1 = ALTITUDES CALCULADAS
SaidaCab2 = {'Município','UF','RN',...
'Lat.(°)','Long.(°)','C (m²/S²)','HOrto2018 (m)','Altitude Normal [IBGE]
(m)','HOrtoCalc (m)',...
'Altitude Ortométrica Helmert [Densidade Constante] (m)','Altitude Ortométrica
Helmert [Densidade Variável] (m)','HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)',...
'HOrto.Bavarov [SS] (m)','HOrto.Bavarov [SC] (m)','HNorSSCalc (m)','HNorSSCalc
(m)'...
'HNorSSCalc - HOrtoSSBv (m)','HNorSSCalc - HOrtoSCBv (m)','HNorSSCalc - HOrtoDCFr
(m)','HNorSSCalc - HOrtoDCFr (m)',...
'HNorSSCalc - HOrtCalc (m)','HNorSSCalc - HOrtCalc (m)',...
'HNorSSCalc - HOrtoDChE (m)','HNorSSCalc - HOrtoDChE (m)','HNorSSCalc -
HOrtoDVHe_m','HNorSSCalc - HOrtoDVHe (m)',...
'Anomalia de Altitude EGM2008 - Ondulação Geoidal MapGeo2015 (m)','HNorSSCalc -
HNorIBGE (m)','HNorSSCalc - HNorIBGE (m)','HOrtoCalc - HNorIBGE (m)',...
'HOrtoDChE - HNorIBGE (m)','HOrtoDVHe - HNorIBGE (m)','HOrtoDCFr - HNorIBGE
(m)','HOrtoSSBv - HNorIBGE (m)','HOrtoSCBv - HNorIBGE (m)',...
'HNorCalcSSVg - HNorIBGE (m)','HNorCalcSCVg - HNorIBGE (m)','HNorCalcDCBo - HNorIBGE_m
(m)','HDinamica (m) - HNorIBGE (m)'};

% #####
% #####

```

```

% #####
% #####
% Inicio planilha: A1 = ALTITUDES CALCULADAS
SaidaCab3 = {'Município','UF','RN',...
'Lat.(°)','Long.(°)','C (m²/S²)','Altitude Normal [IBGE] (m)',...
'HNorSS.Calc (m)','HNorSC.Calc (m)', 'HNorSS.Vignal (m)','HNorSC.Vignal (m)',
'HNor.Bomford (m)','HDinamica (m)'};
% #####
% #####

% #####
% #####
% Inicio planilha: A1
SaidaCab4 = {'Município','UF','RN',...
'Lat.(°)','Long.(°)','C (m²/S²)','Densidade (kg/m³)','Poincaré-Prey', 'HOrto2018
(m)','HOrtoCalc (m)',...
'Altitude Ortométrica Helmert [Densidade Constante] (m)', 'Altitude Ortométrica
Helmert [Densidade Variável] (m)', 'HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)',...
'HOrto.Bavarov [SS] (m)', 'HOrto.Bavarov [SC] (m)',...
'HOrto.Helmert [D.Cte] [Grav. Medida] (m)', 'HOrto.Helmert [D] [Grav. Medida]
(m)',...
'HOrto.Helmert [D] - HOrto.Helmert [D.Cte] [Grav. Medida] (m)',...
'HOrto.Helmert [D.Cte] [Grav. EGM2008] (m)', 'HOrto.Helmert [D] [Grav. EGM2008]
(m)',...
'HOrto.Helmert [D] - HOrto.Helmert [D.Cte] [Grav. EGM2008] (m)',...
'Dif. HOrto.Helmert [D.Cte] (m): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]',...
'Dif. HOrto.Helmert [D] (m): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]',...
'Dif. HOrto.Helmert [D.Cte] (m): [Grav. EGM2008 - Grav. Medida]',...
'Dif. HOrto.Helmert [D] (m): [Grav. EGM2008 - Grav. Medida]',...
'Gravidade Medida (Gal)', 'Gravidade EGM2008 (Gal)', 'Dif. Gravidade [Medida -
EGM2008] (Gal)',...
'Somigliana: SS=Simples SC=Completa'};

% , 'gnSSm_s2', 'gnSCm_s2',...
% 'GRDCNor_Med_mGal', 'GRDVNor_Med_mGal', 'GRDCOrt_Med_mGal', 'GRDVOrt_Med_mGal'

% #####
% #####

% ##### SHEET
% Inicio planilha: A2
% ### 'Município', 'RNs',...
SaidaID = [Mun UFs RNs];
% #####
% Inicio planilha: C2->D2
% ### 'Lat.(°)', 'Long.(°)', 'C (m²/S²)', 'HNorIBGE (m)', 'HOrto2018 (m)', 'HOrtoCalc (m)',...
Saila = [Lat Long C_m2_S2 HNorIBGE_m HOrto2018_m HOrtoCalc_m ];
% ### 'GravMedida (mGal)', 'GravMedida (Gal)', 'GravMedida (m/s²)',...
Sailb = [GMedmGal GMed_Gal GMedm_s2];
% ### 'Densidade (kg/m³)', 'Poincaré-Prey', 'GravNorSS (m/s²)', 'GravNorSC (m/s²)',...
Sailc = [DenKg_m3 RedPP_DV gnSSm_s2 gnSCm_s2];
Saida1 = [Saila Sailb Sailc];
% #####
% Inicio planilha: P2->Q2
% ### '(2.PI.G.D[Cte])/(GravNorSS) [1/m]', '(2.PI.G.D)/(GravNorSS) [1/m]',...
Sai2a = [P2GDcte_gnSS P2GD_gnSS ];
% ### '(2.PI.G.D[Cte])/(GravNorSC) [1/m]', '(2.PI.G.D)/(GravNorSC) [1/m]',...
Sai2b = [P2GDcte_gnSC P2GD_gnSC];
% ### '(DgB.HOrto2018)/gn [Orto2018 D Cte]', '(DgB.HOrto2018)/gn [Orto2018 D]',
'(DgB.HOrtoCalc)/gn [OrtoCalc. D.Cte]', '(DgB.HOrtoCalc)/gn [OrtoCalc. D]',...
Sai2c = [DH_HOrto2018DC DH_HOrto2018DV DH_HOrtoCalcDC DH_HOrtoCalcDV];
% ### 'HOrto.Helmert [D.Cte] (m)', '(DgB.HOrtoHeCalc)/gn [Helmert D.Cte]',...
Sai2d = [HOrtoDCHe_m DH_HOrtoDCHe]; % Helmert Calculada D.Cte
% ### 'HOrto.Helmert [D] (m)', '(DgB.HOrtoHeCalc)/gn [Helmert D]',...
Sai2e = [HOrtoDVHe_m DH_HOrtoDVHe]; % Helmert Calculada D
% ### 'HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)', '(DgB.HOrtoDCFrCalc)/gn [Free-Air D.Cte]',...
Sai2f = [HOrtoCalcDCFr_m DH_HOrtoDCFr]; % Free-Air Calculada D.Cte
Saida2 = [Sai2a Sai2b Sai2c Sai2d Sai2e Sai2f];
% #####
% Inicio planilha: AD2->AE2
% ### 'Grav.Média Bavarov [SS] (Gal)', 'HOrto.Bavarov [SS] (m)', '(DgB.HOrtoSSBvCalc)/gn
[Bavarov SS]',...
Sai3a = [GDCSSbv_Medm_s2 HOrtoSSBv_m DH_HOrtoSSBv]; % Bavarov Calculada Somigliana
% ### 'Grav.Média Bavarov [SC] (Gal)', 'HOrto.Bavarov [SC] (m)', '(DgB.HOrtoSCBvCalc)/gn
[Bavarov SC]',...

```

```

Sai3b = [GDCSCbv_Medm_s2 HOrtoSCbv_m DH_HOrtoSCbv]; % Bavarov Calculada Somigliana
Completa
% ### 'HNorIBGE - HOrto2018 (m)', 'HNorIBGE - HOrto.Calc (m)', 'HNorIBGE - HOrto.Helmert
[D.Cte] (m)', 'HNorIBGE - HOrto.Helmert [D] (m)', 'HNorIBGE - HOrto.Free-Air [D.Cte] (m)',
'HNorIBGE - HOrto.Bavarov [SS] (m)', 'HNorIBGE - HOrto.Bavarov [SC] (m)',...
Sai3c = [D_HNorIBGE_HOrto2018_m D_HNorIBGE_HOrtoCalc_m D_HNorIBGE_HOrtoDCHe_m
D_HNorIBGE_HOrtoDVHe_m D_HNorIBGE_HOrtoDCFr_m D_HNorIBGE_HOrtoSSbv_m D_HNorIBGE_HOrtoSCbv_m];
Saida3 = [Sai3a Sai3b Sai3c];
% #####
% Início planilha: AQ2->AR2
% ### 'HOrtoCalc - HOrto2018 (m)', 'HOrtoCalc - HOrtoDCHe (m)', 'HOrtoCalc - HOrtoDVHe
(m)', 'HOrtoCalc - HOrtoDCFr (m)', 'HOrtoCalc - HOrtoSSbv (m)', 'HOrtoCalc - HOrtoSCbv
(m)',...
Sai4a = [DO_HOrtoCalc_HOrto2018_m DO_HOrtoCalc_HOrtoDCHe_m DO_HOrtoCalc_HOrtoDVHe_m
DO_HOrtoCalc_HOrtoDCFr_m DO_HOrtoCalc_HOrtoSSbv_m DO_HOrtoCalc_HOrtoSCbv_m];
% 'EGM2008_GRS80 (m)', 'MapGeo2015 (m)', 'Anom.da Alt. EGM2008 - Geoides MapGeo2015 (m)',
'Geoides MapGeo2015 - Anom.da Alt. EGM2008 (m)',
% 'Anom.da Alt. EGM2008 - Geoides EGM2008', 'Geoides EGM2008 - Geoides MapGeo2015 (m)',
'Geoides MapGeo2015 - Geoides EGM2008 (m)',...
Sai4b = [QG_EGM2008_GRS80_m G_MapGeo2015_m QGEGM2008_GMapGeo_GMapGeo_QGEGM2008
QG_G_EGM2008_GEGM2008_GMapGeo_GMapGeo_GEGM2008];
Saida4 = [Sai4a Sai4b];

% #####
% Início planilha: BD2 -> BE2
% 'HOrto.Helmert [D] - HOrto.Helmert [D.Cte] (m)', 'HNorSSCalc-HNorSSCalc (m)',
% 'HNorSSCalc (m)', 'HNorSSCalc - HNorIBGE (m)', 'HNorSSCalc - HOrtoCalc (m)', 'HNorIBGE
(m)', 'HOrtoCalc (m)',
Sai5a = [D_DCte_HOrtoHe_m D_HNorCalc_SC_SS_m HNorSSCalc_m D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m
D_HNorSSCalc_HOrtoCalc_m HNorIBGE_m HOrtoCalc_m];
% 'HNorSSCalc (m)', 'HNorSSCalc - HNorIBGE (m)', 'HNorSSCalc - HOrtoCalc (m)',
% 'HNorIBGE - HOrtoCalc (m)', 'GravCalc (mGal)', 'GravMed - GravCalc (mGal)',
% 'Grav.Medida (mGal)', 'Grav.Nor. [SS] (mGal)', 'Grav.Nor. [SC] (mGal)'
Sai5b = [HNorSSCalc_m D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m D_HNorSSCalc_HOrtoCalc_m
D_HNorIBGE_HOrtoCalc_m gCalc_mGal D_GMed_gCalc_mGal_GMedmGal_gnSS_mGal_gnSC_mGal];
% '[HNorIBGE-HMDERS (m)]', '[HMDERS-HOrtoDCHe (m)]', '[HMDERS-HOrtoDVHe (m)]', 'HMDERS
(m)'
Sai5c = [D_HNorIBGE_HMDERS_GRS80_m D_HOrtoDCHe_HMDERS_GRS80_m D_HOrtoDVHe_HMDERS_GRS80_m
HMDERS_GRS80_m QG_EGM2008_GRS80_m G_EGM2008_GRS80_m QG_XGM2019e_m G_XGM2019e_m
GrEa_EGM2008_mGal_Df_GMed_GrEaEGM2008_mGal];
Saida5 = [Sai5a Sai5b Sai5c];

% #####
% #####

% ### ===== ###
% ##### SHEET2 => ALTITUDES
% #####
% ### 'Lat.(°)', 'Long.(°)', 'C (m2/S2)', 'H NorIBGE (m)', 'H Orto2018 (m)', 'H OrtoCalc
(m)',...
SaiSheet2A = [Lat Long C_m2_S2 HOrto2018_m HNorIBGE_m HOrtoCalc_m ];
% ### 'HOrto.Helmert [D.Cte] (m)', 'HOrto.Helmert [D] (m)', 'HOrto.Free-Air [D.Cte]
(m)',...
SaiSheet2B = [HOrtoDCHe_m HOrtoDVHe_m HOrtoCalcDCFr_m];
% ### 'HOrto.Bavarov [SS] (m)', 'HOrto.Bavarov [SC] (m)', 'H NorSSCalc (m)', 'H
NorSSCalc (m)';
SaiSheet2C = [HOrtoSSbv_m HOrtoSCbv_m HNorSSCalc_m HNorSSCalc_m];
% #####
% #####
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoSSbv_m', 'HNorSSCalc_m-HOrtoSCbv_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDCFr_m', 'HNorSSCalc_m-HOrtoDCFr_m'
SaiSheet2D = [D_HNorSSCalc_HOrtoSSbv_m D_HNorSSCalc_HOrtoSCbv_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCFr_m D_HNorSSCalc_HOrtoDCFr_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoCalc_m', 'HNorSSCalc_m-HOrtoCalc_m'
SaiSheet2E = [D_HNorSSCalc_HOrtoCalc_m D_HNorSSCalc_HOrtoCalc_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDVHe_m', 'HNorSSCalc_m-HOrtoDVHe_m'
SaiSheet2F = [D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m];
% #####
% 'Anom.da Alt. EGM2008 - Geoides MapGeo2015
(m)', 'HNorSSCalc_HNorIBGE_m', 'HNorSSCalc_HNorIBGE_m', 'HOrtoCalc_HNorIBGE_m'
SaiSheet2G = [QGEGM2008_GMapGeo D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m
D_HOrtoCalc_HNorIBGE_m];
% #####

```

```

%
'HOrtoDCHe_HNorIBGE_m','HOrtoDVHe_HNorIBGE_m','HOrtoDCFr_HNorIBGE_m','HOrtoSSBv_HNorIBGE_m','H
OrtoSCBv_HNorIBGE_m'
    SaiSheet2H = [D_HOrtoDCHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDVHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDCFr_HNorIBGE_m
D_HOrtoSSBv_HNorIBGE_m D_HOrtoSCBv_HNorIBGE_m];
% #####
% 'HNorCalcSSVg - HNorIBGE (m)', 'HNorCalcSCVg - HNorIBGE (m)', 'HNorCalcDCBo -
HNorIBGE_m (m)'
    SaiSheet2I = [D_HNorCalcSSVg_HNorIBGE_m D_HNorCalcSCVg_HNorIBGE_m
D_HNorCalcDCBo_HNorIBGE_m D_HDinamica_HNorIBGE_m];
% #####

    SaiSheet2 = [SaiSheet2A SaiSheet2B SaiSheet2C SaiSheet2D SaiSheet2E SaiSheet2F
SaiSheet2G SaiSheet2H SaiSheet2I];

% #####
% #####
% ### ===== ###

% #####
% #####

% ### ===== ###
% ##### SHEET3 => ALTITUDES NORMAIS E DINÂMICA
% #####
% ### 'Lat.(°)', 'Long.(°)', 'C (m²/S²)', 'H NorIBGE (m)', ...
    SaiSheet3A = [Lat Long C_m2_S2 HNorIBGE_m];
% ### 'HNorSSCalc (m)', 'HNorSCCalc (m)', 'HNorCalcSSVg (m)', 'HNorCalcSCVg (m)', ...
    SaiSheet3B = [HNorSSCalc_m HNorSCCalc_m HNorCalcSSVg_m HNorCalcSCVg_m];
% ### 'HNorCalcDCBo (m)', 'HDinamica_m';
    SaiSheet3C = [HNorCalcDCBo_m HDinamica_m];
% #####
% #####
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoSSBv_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoSCBv_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDCFr_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDCFr_m'
%    SaiSheet3D = [D_HNorSSCalc_HOrtoSSBv_m D_HNorSCCalc_HOrtoSCBv_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCFr_m D_HNorSCCalc_HOrtoDCFr_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtCalc_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtCalc_m'
%    SaiSheet3E = [D_HNorSSCalc_HOrtCalc_m D_HNorSCCalc_HOrtCalc_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDVHe_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDVHe_m'
%    SaiSheet3F = [D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m D_HNorSCCalc_HOrtoDCHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m D_HNorSCCalc_HOrtoDVHe_m];
% #####
% 'Anom.da Alt. EGM2008 - Geoides MapGeo2015
(m)', 'HNorSSCalc_HNorIBGE_m', 'HNorSCCalc_HNorIBGE_m', 'HOrtoCalc_HNorIBGE_m'
%    SaiSheet3G = [QEGEM2008_GMapGeo D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m D_HNorSCCalc_HNorIBGE_m
D_HOrtoCalc_HNorIBGE_m];
% #####
%
'HOrtoDCHe_HNorIBGE_m','HOrtoDVHe_HNorIBGE_m','HOrtoDCFr_HNorIBGE_m','HOrtoSSBv_HNorIBGE_m','H
OrtoSCBv_HNorIBGE_m'
%    SaiSheet3H = [D_HOrtoDCHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDVHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDCFr_HNorIBGE_m
D_HOrtoSSBv_HNorIBGE_m D_HOrtoSCBv_HNorIBGE_m];
% #####

    SaiSheet3 = [SaiSheet3A SaiSheet3B SaiSheet3C]; % SaiSheet3D SaiSheet3E SaiSheet3F
SaiSheet3G SaiSheet3H];

% #####
% #####
% ### ===== ###

% #####
% #####

% ### ===== ###
% ##### SHEET4 => ALTITUDEA ORTOMÉTRICAA
% #####
% ### 'Lat.(°)', 'Long.(°)', 'C (m²/S²)', 'Densidade (kg/m³)', 'Poincaré-Prey', 'H
Orto2018 (m)', 'H OrtoCalc (m)', ...
    SaiSheet4A = [Lat Long C_m2_S2 DenKg_m3 RedPP_DV HOrto2018_m HOrtoCalc_m ];
% ### 'HOrto.Helmert [D.Cte] (m)', 'HOrto.Helmert [D] (m)', 'HOrto.Free-Air [D.Cte]
(m)', ...
    SaiSheet4B = [HOrtoDCHe_m HOrtoDVHe_m HOrtoCalcDCFr_m];

```



```

% ### 'HOrto.Bavarov [SS] (m)', 'HOrto.Bavarov [SC] (m)', 'HOrto.Helmert [D.Cte]
[Grav. Medida] (m)', 'HOrto.Helmert [D] [Grav. Medida] (m)', 'Dif. HOrto.Helmert [D - D.Cte]
(m): [Grav. Medida]', 'HOrto.Helmert [D.Cte] [Grav. EGM2008] (m)', 'HOrto.Helmert [D] [Grav.
EGM2008] (m)', 'Dif. HOrto.Helmert [D - D.Cte] (m): [Grav. EGM2008]', 'Dif. HOrto.Helmert
[D.Cte] (m): [Grav. Medida - Grav. EGM2008]', 'Dif. HOrto.Helmert [D] (m): [Grav. Medida -
Grav. EGM2008]', 'Dif. HOrto.Helmert [D.Cte] (m): [Grav. EGM2008 - Grav. Medida]', 'Dif.
HOrto.Helmert [D] (m): [Grav. EGM2008 - Grav. Medida]', 'Gravidade Medida (Gal)', 'Gravidade
EGM2008 (Gal)', 'Dif. Gravidade [Medida - EGM2008] (Gal)',... 'Somigliana: SS=Simples
SC=Completa'];

SaiSheet4C = [HOrtoSSBv_m HOrtoSCBv_m HOrtoDCHe_m HOrtoDVHe_m Df_HOrtoDVDCHe_GMed_m
HOrtoDCHeGrEa_m HOrtoDVHeGrEa_m Df_HOrtoDVDCHe_GrEa_m Df_HOrtoDCHe_GMed_GrEa_m
Df_HOrtoDVHe_GMed_GrEa_m Df_HOrtoDCHe_GrEa_GMed_m Df_HOrtoDVHe_GrEa_GMed_m GMed_Gal
GrEa_EGM2008_Gal Df_GMed_GrEaEGM2008_Gal];

% #####
% #####
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoSSBv_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoSCBv_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDCFr_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDCFr_m'
% SaiSheet4D = [D_HNorSSCalc_HOrtoSSBv_m D_HNorSCCalc_HOrtoSCBv_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDCFr_m D_HNorSCCalc_HOrtoDCFr_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtCalc_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtCalc_m'
% SaiSheet4E = [D_HNorSSCalc_HOrtCalc_m D_HNorSCCalc_HOrtCalc_m];
% ### 'HNorSSCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDCHe_m', 'HNorSSCalc_m-
HOrtoDVHe_m', 'HNorSCCalc_m-HOrtoDVHe_m'
% SaiSheet4F = [D_HNorSSCalc_HOrtoDCHe_m D_HNorSCCalc_HOrtoDCHe_m
D_HNorSSCalc_HOrtoDVHe_m D_HNorSCCalc_HOrtoDVHe_m];
% #####
% 'Anom.da Alt. EGM2008 - Geoides MapGeo2015
(m)', 'HNorSSCalc_HNorIBGE_m', 'HNorSCCalc_HNorIBGE_m', 'HOrtoCalc_HNorIBGE_m'
% SaiSheet4G = [QEGM2008_GMapGeo D_HNorSSCalc_HNorIBGE_m D_HNorSCCalc_HNorIBGE_m
D_HOrtoCalc_HNorIBGE_m];
% #####
%
'HOrtoDCHe_HNorIBGE_m', 'HOrtoDVHe_HNorIBGE_m', 'HOrtoDCFr_HNorIBGE_m', 'HOrtoSSBv_HNorIBGE_m', 'H
OrtoSCBv_HNorIBGE_m'
% SaiSheet4H = [D_HOrtoDCHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDVHe_HNorIBGE_m D_HOrtoDCFr_HNorIBGE_m
D_HOrtoSSBv_HNorIBGE_m D_HOrtoSCBv_HNorIBGE_m];
% #####

SaiSheet4 = [SaiSheet4A SaiSheet4B SaiSheet4C]; % SaiSheet4D SaiSheet4E SaiSheet4F
SaiSheet4G SaiSheet4H];

% #####
% #####
% ### ===== ###

% Create push button
% ### ===== ###
% ### Resultados dos Cálculos ###
% ### ===== ###
% Cabeçalho
% ### ===== ###
btn501 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cabeç: plan1',...
'Position', [00 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaCab,sheet,'A1')');
% RN Município
btn502 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'RRNN Município',...
'Position', [80 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaID,sheet,'A2')');
% Ex0001
btn503 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: D-P',...
'Position', [160 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,Saida1,sheet,'D2')');
% Ex0002
btn504 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: Q-AD',...
'Position', [240 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,Saida2,sheet,'Q2')');
% Ex0003
btn505 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: AE-AQ',...
'Position', [320 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,Saida3,sheet,'AE2')');
% Ex0004
btn506 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: AR-BD',...
'Position', [400 80 80 20],...
'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,Saida4,sheet,'AR2')');
% Ex0005

```

```

btn506 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: BE-CD',...
    'Position', [480 80 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,Saida5,sheet,'BE2')');

% ### ===== ###
% Cabeçalho para a planilha 2: que contem as Altitudes
% ### ===== ###
btn806 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cabeç: Altitudes',...
    'Position', [480 160 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaCab2,sheet2,'A1')');
% RN Município
btn706 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'RRNN Município',...
    'Position', [480 140 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaID,sheet2,'A2')');
% Ex0006
btn606 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: D-AM',...
    'Position', [480 120 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaiSheet2,sheet2,'D2')');
% ### ===== ###

% ### ===== ###
% Cabeçalho para a planilha 3: que contem as Altitudes Normais
%                               e Altitude Dinâmica
% ### ===== ###
btn836 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cabeç:Alt_Norm',...
    'Position', [480 220 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaCab3,sheet3,'A1')');
% RN Município
btn736 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'RRNN Município',...
    'Position', [480 200 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaID,sheet3,'A2')');
% Ex0006
btn636 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: D-M',...
    'Position', [480 180 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaiSheet3,sheet3,'D2')');
% ### ===== ###

% ### ===== ###
% Cabeçalho para a planilha 4: que contem as Altitudes Ortométricas
% ### ===== ###
btn1146 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cabeç:Alt_Orto',...
    'Position', [480 280 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaCab4,sheet4,'A1')');
% RN Município
btn1046 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'RRNN Município',...
    'Position', [480 260 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaidaID,sheet4,'A2')');
% Ex0006
btn0946 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Cols: D-O',...
    'Position', [480 240 80 20],...
    'Callback', 'xlswrite(pathfileOut,SaiSheet4,sheet4,'D2')');
% ### ===== ###

% ### ===== ###
%                               Resultados Visual
% ### ===== ###

btn101a = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Plota RRNN',...
    'Position', [00 00 80 20],...
    'Callback', 'plot(Long,Lat,','')');
btn101b = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Mapa RRNN',...
    'Position', [80 00 80 20],...
    'Callback', 'image(importdata('RS-QGIS-RRNN-MS-02.jpg'))');
btn102a = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Gravidade c/RRNN',...
    'Position', [160 00 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata('NEWSR02b_GravMed_ComRRNN_dados_grav_RGS-G-
VizinhoNatural.jpg'))');
btnm102b = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge',...
    'Position', [260 00 50 20],...
    'Callback', 'image(importdata('Clip-HNO-00b_GoogleTerrain.jpg'))');
btn103a = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOrto2018',...
    'Position', [340 00 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata('Clip-HNO-HOC2018-003b_GoogleTerrain.jpg'))');
btn103b = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HO2018c/RRNN',...
    'Position', [440 00 120 20],...
    'Callback', 'image(importdata('NEWSR02b_HNO-HOrto2018_ComRRNN.jpg'))');

```

```

% ### ===== ###
btn201 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'RRNN RS',...
    'Position', [00 20 80 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''RRNN_RSb.jpg''))');
btn202 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Earth RRNN RS',...
    'Position', [80 20 80 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''RRNN-Google-4.jpg''))');
btn203 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'Gravidade',...
    'Position', [160 20 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_GravMed_SemRRNN_dados_grav_RGS-G-
VizinhoNatural.jpg''))');

btn204 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'C m2/s2',...
    'Position', [260 20 50 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-C-m2_s2_00_GoogleTerrain.jpg''))');
btn206 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOCalc',...
    'Position', [380 20 80 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-HNO-HOC-002b_GoogleTerrain.jpg''))');
btn207 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOFreeAir',...
    'Position', [460 20 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_HNO-HOrtoFree-Air.jpg''))');

% ### ===== ###
btn301 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'AnomAlt-G.EGM2008',...
    'Position', [00 40 130 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_AnomAltEGM2008-GeoideEGM2008.jpg''))');
btn302 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'G.EGM2008-G.MapGeo2015',...
    'Position', [130 40 140 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_G-EGM2008_G-MapGeo2015.jpg''))');

btn303 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HOC-HO2018',...
    'Position', [380 40 80 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-HOC-HO2018-007b_GoogleTerrain.jpg''))');
btn304 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOBavarov',...
    'Position', [460 40 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-HNO-HOBv[SC]-006b_GoogleTerrain.jpg''))');

% ### ===== ###
btn402 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'AnomAlt-G.MapGeo2015',...
    'Position', [0 60 130 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-AAEGM2008-MaoGeo2015-
004b_GoogleTerrain.jpg''))');
btn403 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HOHel_DVar-HOHel_DCte',...
    'Position', [230 60 130 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''Clip-HOHe[D]-HOHe[DCte]-005b_GoogleTerrain.jpg''))');
btn404 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOHel[DVar]',...
    'Position', [360 60 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_HNO-HOrtoHelmert_DensVar.jpg''))');
btn405 = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'HNibge-HOHel[DCte]',...
    'Position', [460 60 100 20],...
    'Callback', 'image(importdata(''NEWSR02b_HNO-HOrtoHelmert_DCte.jpg''))');

% ### ===== ###
return

```