

Manual GrafLab

software desenvolvido por Blažej Bucha

Slovak University of Technology em Bratislava

blazej.bucha@stuba.sk

Trabalho de tradução para língua portuguesa foi desenvolvido pela estudante de graduação
Luana Munduruca Domingues para o projeto de Iniciação Científica "Análise do Banco
Nacional de Dados Gravimétricos (BNDG) com os Modelos Geopotenciais
Globais"

Orientador: Prof. Dr. Flavio Guilherme Vaz de Almeida Filho

Coorientadora: Dra. Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos

flavio vaz@usp.br e accmatos@alumni.usp.br

Maio 2025

Introdução	3
1. Interface gráfica do GrafLab.....	3
1.1 Modelo geopotencial e seleção do sistema de referência:	4
1.2 Seleção do tipo de ponto	7
1.3 Parâmetros calculados e seleção de saída	11
2. Executando o GrafLab sem interface gráfica	15
2.1 Seleção do modelo global de geopotencial e sistema de referência	15
2.2 Seleção do tipo de ponto	16
2.3 Especificações para o formato de grade (grid mode).....	16
2.4 Especificações para o modo de carregamento de dados	16
2.5 Especificações para o modo ponto a ponto.....	17
2.6 Parâmetros calculados e seleção de saída	17
2.7 Configurações de exibição de dados.....	17
2.8 Lista de funcionais que podem ser calculados	18
2.9 Exemplo 1 - Cálculo da ondulação geoidal global	20
2.10 Exemplo 2 - Cálculo da ondulação geoidal para América do Sul	23
2.11 Exemplo 3 - Anomalia gravidade em aproximação esférica para o estado da Bahia	26
2.12 Exemplo 4 - Comparação entre anomalia dos dados gravimétricos da Bahia com o MGG	28
Referências Bibliográficas.....	31
ANEXO 1 - Transformar arquivo com extensão “gfc” em formato MATLAB	32
ANEXO 2 - Exemplo do cálculo de ondulação geoidal global (altura geoidal).....	33
ANEXO 3 - Exemplo do cálculo de ondulação geoidal para América do Sul (altura geoidal)	35
ANEXO 4 - Exemplo de anomalia de gravidade em aproximação esférica.....	37

Introdução

Graflab (*GRAvity Field LABoratory*), desenvolvido por Bucha e Janák (2013), é uma rotina baseada em MATLAB (e OCTAVE) para computar funcionais do geopotencial até altos graus (dezenas de milhares ou mais).

Suas funcionalidades são:

- Avaliação de 38 funcionais do geopotencial, como: geoide, anomalia de altura, anomalias/perturbações da gravidade, desvios da vertical e o tensor gravitacional;
- Cálculo do erro de comissão para 26 funcionais, utilizando uma matriz de variância-covariância completa dos coeficientes harmônicos esféricos;
- Suporte à síntese eficiente com base em FFT para dados em grade e síntese ponto a ponto para pontos dispersos.
- Leitura de modelos no formato “.gfc”, conforme definido pelo *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM), ver <https://icgem.gfz-potsdam.de/docs/ICGEM-Format-2023.pdf>;
- Trabalha com pontos de avaliação definidos por coordenadas esféricas e elipsoidais;
- Plota dados de saída em um mapa.

É possível trabalhar dentro de uma interface gráfica e por comando de linha.

O software está disponível em: <https://www.blazejbucha.com/#Graflab> e seu repositório está disponível em: "<https://github.com/blazej-bucha/graflab-cookbook>"

1. Interface gráfica do Graflab

Esta seção descreve a utilização da interface gráfica (GUI) do software (Figura 1).

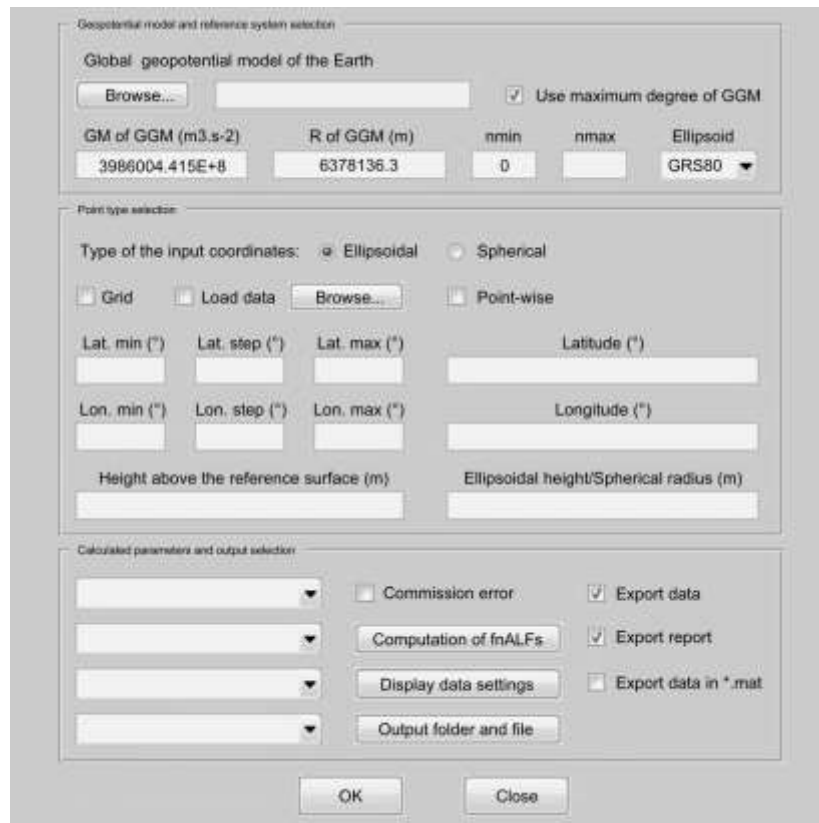


Figura 1 - Interface gráfica (GUI) do software GrafLab.

A interface gráfica do GrafLab está organizada visualmente em três partes como descritas nas subseções 1.1 a 1.3.

1.1 Modelo geopotencial e seleção do sistema de referência:

Primeiramente, o arquivo de entrada do Modelo Geopotencial Global (MGG) ou sua matriz de erro de variância-covariância deve ser importado por meio do botão **"Browser"** (navegador). Esse arquivo deve seguir uma das duas estruturas padronizadas, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Além dos coeficientes harmônicos esféricos, o arquivo de entrada pode conter opcionalmente a quinta e a sexta coluna com seus respectivos desvios padrão. O GrafLab também é capaz de processar arquivos MGG no formato padronizado pelo ICGEM. Para isso, o arquivo deve ter o sufixo ".gfc" e conter os coeficientes harmônicos esféricos organizados conforme as Tabelas 1 ou 2.

Se o arquivo de entrada MGG seguir essa estrutura específica, o GrafLab utilizará os valores de "GM" e "R" diretamente do arquivo, desconsiderando aqueles inseridos manualmente na interface gráfica (GUI).

O arquivo pode estar no formato ASCII ou ser um arquivo binário MAT. Para modelos MGG com alto grau máximo de coeficientes harmônicos esféricos (SHC; em inglês *Spherical Harmonic Coefficients*), recomenda-se o uso do formato MAT binário, pois proporciona um carregamento significativamente mais rápido (ver Figura 2). No Anexo 1 está o script para transformar SHC no formato MAT.

Tabela 1: Estrutura do arquivo MGG de entrada – Coeficientes harmônicos esféricos organizados principalmente por grau.

n	m	C_nm	S_nm
2	0	-0.48417E-03	0.00000E+00
2	1	-0.20662E-09	0.13844E-08
2	2	0.24394E-05	-0.14003E-05
3	0	0.95716E-06	0.00000E+00

Tabela 2: Estrutura do arquivo MGG de entrada – Coeficientes harmônicos esféricos organizados principalmente por ordem.

n	m	C_nm	S_nm
2	0	-0.48417E-03	0.00000E+00
3	0	0.95712E-06	0.00000E+00
4	0	0.53998E-06	0.00000E+00
5	0	0.68658E-07	0.00000E+00

O arquivo de entrada ASCII da matriz de variância-covariância do erro deve seguir a estrutura apresentada na Tabela 3. Alternativamente, um arquivo binário MAT também pode

ser utilizado para importar essa matriz. No entanto, nesse formato, os *arrays* vazios indicados na Tabela 3 devem ser preenchidos com zeros ou com as covariâncias correspondentes.

Para este formato, "n_min" = 2 e "n_max" = 3. A coluna CS indica a qual coeficiente os valores de variância e covariância na linha específica estão relacionados:

- **CS = 0** → Referente ao coeficiente C_nm
- **CS = 1** → Referente ao coeficiente S_nm

Tabela 3: Estrutura do arquivo de entrada da matriz de variância e covariância de erro – Coeficientes harmônicos esféricos organizados principalmente por ordem.

CS	n	m	Variâncias e Covariâncias dos Coeficientes Harmônicos Esféricos
0	2	0	-4.31E-25
0	3	0	-2.11E-26 -2.48E-25
0	2	1	-3.79E-28 -1.15E-27 -3.84E-25
1	2	1	-3.44E-28 -4.67E-28 -1.17E-27 -4.16E-25
0	3	1	-1.99E-27 -7.61E-29 -2.98E-26 -3.18E-28 -2.48E-25
1	3	1	-1.44E-28 -8.80E-29 -3.42E-28 -2.54E-26 -3.16E-27 -2.70E-25
0	2	2	-8.17E-27 -1.72E-27 -2.94E-28 -3.67E-28 -9.06E-29 -1.08E-27 4.02E-25
1	2	2	-1.14E-27 -2.94E-28 -5.61E-29 -3.86E-28 -1.23E-27 -1.50E-27 -8.37E-28 -4.25E-25
0	3	2	-9.38E-27 -6.35E-27 -1.08E-27 -1.81E-27 -7.12E-28 -3.53E-28 -3.30E-26 -9.75E-29 -3.07E-25
1	3	2	-1.27E-28 -3.45E-27 -1.59E-27 -7.97E-28 -1.75E-28 -1.15E-28 -5.51E-28 -2.30E-26 -2.78E-27 -3.09E-25
0	3	3	-7.74E-28 -1.36E-28 -9.93E-27 -5.50E-28 -9.55E-28 -3.25E-27 -1.06E-27 -8.60E-28 -2.85E-29 -1.58E-28 -2.74E-25
1	3	3	-1.14E-27 -2.19E-28 -4.51E-28 -1.26E-26 -1.46E-28 -4.90E-27 -1.25E-28 -1.76E-28 -1.18E-28 -5.22E-29 -6.97E-29 -2.74E-25

A maioria dos MGGs possuem os mesmos valores de constante gravitacional geocêntrica e raio da esfera de referência. Por isso, o GrafLab fornece os mesmos automaticamente para o cálculo. No entanto, esses valores podem ser facilmente substituídos, se necessário.

Utilizando as matrizes “*nmin*” e “*nmax*”, é possível inserir valores inteiros nos intervalos nmin ‘in’ <0, nmax> e nmax ‘in’ <2, M>. Vale ressaltar que, em algumas exceções,

o valor de "*nmin*" é fixado em 0 e não pode ser alterado (ver Tabela 4 "Cálculo de parâmetros e seleção de saída").

No menu pop-up "*Ellipsoid*" (Elipsoide), pode-se selecionar o campo gravitacional normal com relação aos sistemas de referência geodésicos WGS84 (*World Geodetic System* 1984; NIMA, 2000) ou GRS80 (*Geodetic Reference System* 1980; Moritz, 2000).

The screenshot shows the 'GrafLab 2.1.4' window with a dialog box titled 'Geopotential model and reference system selection'. The dialog is organized into three main sections. The top section, 'Global geopotential model of the Earth', contains a 'Browse...' button, a text field with 'XGM2019e_2159.gfc', a checked checkbox for 'Use maximum degree of GGM', and input fields for 'GM of GGM (m³*s⁻²)' (3986004.415E+8), 'R of GGM (m)' (6378136.3), 'nmin' (0), 'nmax', and a dropdown menu for 'Ellipsoid' currently set to 'GRS80'. The middle section, 'Point type selection', features radio buttons for 'Type of the input coordinates' (with 'Ellipsoidal' selected) and 'Spherical'. It also has radio buttons for 'Grid' (selected), 'Load data', and 'Point-wise'. Below these are input fields for latitude and longitude ranges and steps. The bottom section, 'Calculated parameters and output selection', includes checkboxes for 'Commission error', 'Export data', 'Export report', and 'Export data in *.mat', along with buttons for 'Computation of fnALFs', 'Display data settings', and 'Output folder and file'. 'OK' and 'Close' buttons are at the bottom of the dialog.

Figura 2 - Escolha do modelo geopotencial e sistema de referência.

1.2 Seleção do tipo de ponto

No painel de seleção do tipo de ponto, é possível escolher entre coordenadas de entrada no formato elipsoidal ou esférico. Em seguida, deve-se especificar uma das três formas de organização da avaliação, selecionando a caixa correspondente: "*Grid*", "*Load data*" ou "*Point-wise*".

Caso a opção "**Grid**" seja escolhida, é necessário inserir os valores mínimo, máximo e o espaçamento da grade em grau nas direções de latitude (elipsoidal ou esférica) e longitude (Figura 3).

A opção "**Height above the reference surface (m)**" (Altitude acima da superfície de referência (m)) representa a altitude constante da grade em relação ao elipsoide de referência, no caso de coordenadas elipsoidais. No caso de coordenadas de entrada serem esféricas, a superfície de referência é uma esfera com o raio "R" e, portanto, essa altitude é medida acima dessa esfera na direção radial.

Para cálculos em uma grade regular, utiliza-se a abordagem dos coeficientes harmônicos concentrados ("*lumped spherical harmonic approach*"), ver <https://www.blazejbucha.com/presentations/bucha-2022-10-years-with-spherical-harmonics-tatry-2022.pdf>.

The screenshot shows the GrafLab 2.1.4 software interface. The main window is titled "GrafLab 2.1.4". Below the title bar, there is a section for "Geopotential model and reference system selection". This section includes a "Global geopotential model of the Earth" with a "Browse..." button and a text field containing "XGM2019.gfc". There is a checked checkbox for "Use maximum degree of GGM". Below this, there are fields for "GM of GGM (m³s⁻²)" with the value "3986004.415E+8", "R of GGM (m)" with the value "6378136.3", "nmin" with the value "0", "nmax" (empty), and a dropdown menu for "Ellipsoid" currently showing "GRS80".

A blue rectangular box highlights the "Point type selection" dialog box. Inside this dialog, there are two radio buttons for "Type of the input coordinates": "Ellipsoidal" (selected) and "Spherical". Below these, there are three radio buttons: "Grid" (selected), "Load data", and "Point-wise". The "Grid" option has associated input fields: "Lat. min (deg)" with "-60", "Lat. step (deg)" with "1", "Lat. max (deg)" with "25", "Lon. min (deg)" with "-100", "Lon. step (deg)" with "1", and "Lon. max (deg)" with "-30". There is also a "Browse..." button next to "Load data". Below the grid parameters is a field for "Height above the reference surface (m)".

Below the "Point type selection" dialog, there is a section for "Calculated parameters and output selection". It includes a list of parameters with dropdown menus, a checked checkbox for "Commission error", a checked checkbox for "Export data", a checked checkbox for "Export report", a checkbox for "Export data in *.mat", a "Display data settings" button, and an "Output folder and file" text field. At the bottom of the window are "OK" and "Close" buttons.

Figura 3 - Seleção do tipo de ponto - Grade.

Para importar os pontos computacionais a partir de um arquivo de dados, selecione a caixa "**Load data**" e, em seguida, utilize o botão "**Browser**" para importar o arquivo desejado (Figura 4).

O arquivo pode conter um número arbitrário de linhas, e cada linha deve fornecer um conjunto de três coordenadas, no formato elipsoidal ou esférico:

Latitude (elipsoidal ou esférica) e longitude ambas em graus e altitude elipsoidal ou raio esférico em metros.

The screenshot shows the 'GraLab 2.1.4' window. The 'Geopotential model and reference system selection' section is at the top, with fields for 'Global geopotential model of the Earth' (XGM2019.gfc), 'GM of GGM (m³s⁻²)' (3986004.415E+8), 'R of GGM (m)' (6378136.3), 'nmin' (0), 'nmax', and 'Ellipsoid' (GRS80). The 'Point type selection' section is highlighted with a blue box. It contains 'Type of the input coordinates:' with radio buttons for 'Ellipsoidal' (selected) and 'Spherical'. Below this is a text field 'sctr-points.txt' and a 'Browse...' button. There are also radio buttons for 'Grid', 'Load data' (selected), and 'Point-wise'. The bottom section, 'Calculated parameters and output selection', includes checkboxes for 'Commission error', 'Export data' (checked), 'Export report' (checked), and 'Export data in *.mat'. It also has buttons for 'Computation of fnALFs', 'Display data settings', and 'Output folder and file'. At the bottom are 'OK' and 'Close' buttons.

Figura 4 - Seleção do tipo de ponto - Arquivo de dados.

A outra opção é selecionar a caixa "*Point-wise*", nessa é possível inserir manualmente um ponto arbitrário definido pelo conjunto de três coordenadas elipsoidais ou esféricas utilizando as usando as matrizes: latitude (graus), longitude (graus), altitude elipsoidal (geodésica) ou raio esférico (m).

O tipo de latitude inserido na matriz latitude (graus) deve corresponder ao tipo das coordenadas de entrada (Figura 5).

The image shows the 'GrafLab 2.1.4' software window. The 'Geopotential model and reference system selection' section is at the top, showing 'Global geopotential model of the Earth' with a file 'XGM2019.gfc' and a checked box for 'Use maximum degree of GGM'. Below this are fields for 'GM of GGM (m³*s⁻²)' (3986004.415E+8), 'R of GGM (m)' (6378136.3), 'nmin' (0), 'nmax' (empty), and an 'Ellipsoid' dropdown set to 'GRS80'. The 'Point type selection' section is in the middle, with 'Type of the input coordinates' set to 'Ellipsoidal'. Below this are options for 'Grid', 'Load data', and 'Point-wise' (which is selected and highlighted with a blue box and an arrow). The 'Point-wise' section contains three input fields: 'Latitude (deg)' with '-23', 'Longitude (deg)' with '-45', and 'Ellipsoidal height/Spherical radius (m)' with '0'. The 'Calculated parameters and output selection' section is at the bottom, with checkboxes for 'Commission error' (unchecked), 'Export data' (checked), 'Computation of fnALFs' (checked), 'Export report' (checked), 'Display data settings' (unchecked), 'Export data in *.mat' (unchecked), and 'Output folder and file' (empty). 'OK' and 'Close' buttons are at the bottom right.

Figura 5 - Seleção do tipo de ponto - Ponto individual.

Se for necessário inserir mais de um ponto as coordenadas devem ser separadas por vírgula ou por espaço. Esse método é ideal para casos em que apenas alguns pontos precisam ser determinados, desse modo não há necessidade de criar e importar um arquivo de dados.

Nos dois últimos casos de seleção de tipo de ponto, a metodologia de coeficientes concentrados não pôde ser empregada. Isso ocorre devido à distribuição irregular dos pontos.

Consequentemente, utiliza-se dois laços (*loops*): um que depende do grau e outro que depende da ordem.

Em qualquer uma das três seleções de tipo de ponto mencionadas acima, as entradas devem ser fornecidas em formato de números de ponto flutuante com casas decimais (representação de números reais) ou valores inteiros, as latitudes devem ser inseridas dentro do intervalo $\langle -90^\circ, 90^\circ \rangle$ e as longitudes no intervalo $\langle 0^\circ, 360^\circ \rangle$ ou $\langle -180^\circ, 180^\circ \rangle$.

1.3 Parâmetros calculados e seleção de saída

Usando os quatro menus pop-up no lado esquerdo deste painel (ver Figura 6), o usuário pode selecionar quais funcionais do geopotencial deseja calcular. É possível escolher pelo menos uma e no máximo quatro funcionais simultaneamente.

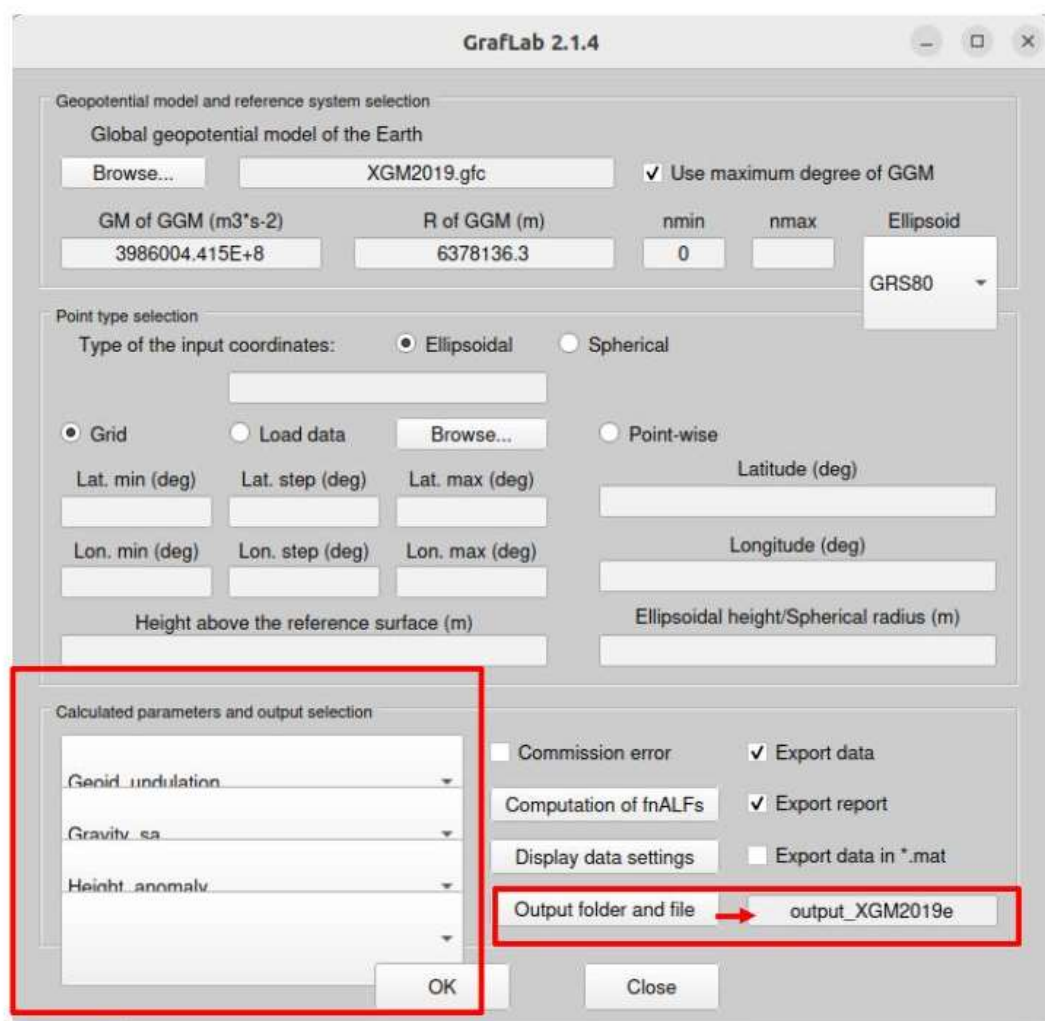


Figura 6 - Escolha das funcionais e arquivo de saída.

Um resumo das funcionais disponíveis no GrafLab está apresentado na Tabela 4.

Para manter a concisão, as fórmulas matemáticas utilizadas para o cálculo de cada funcional não são exibidas aqui, mas podem ser consultadas no arquivo PDF disponível em: https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/web_katedry/gza/vyskum/graflab/Definition_of_functionals_of_the_geopotential_used_in_GrafLab_software.pdf.

Para a avaliação do tensor perturbador e gravitacional no LNOF, é utilizado expressões não singulares, conforme descrito em Petrovskaya e Vershkov (2006). No entanto, por razões práticas, essas fórmulas foram ligeiramente modificadas, e a versão ajustada pode ser encontrada no mesmo arquivo PDF mencionado acima.

O subscrito "sa" denota a aproximação esférica (*spherical approximation*) do funcional. As coordenadas esféricas são representadas por ("r", "θ", "λ"), enquanto as coordenadas no sistema de referência orientado para o norte são denotadas por ("x", "y", "z"). Os subscritos "r", "θ", "λ", "x", "y", "z" e suas combinações indicam as derivadas dos funcionais em relação a uma coordenada específica. O número sobrescrito representa a demanda computacional, sendo (1) baixa, (2) média e (3) alta, refletindo o tempo de cálculo do funcional e o uso de memória durante a computação. Além disso, os funcionais indicados por () são aqueles para os quais o valor de “*nmin*” não pode ser maior que 0.

Tabela 4: Funcionais do geopotencial disponíveis no GrafLab.

Campo real	Campo perturbado	Características geométricas do campo real
V(1)	T(1)	xi(2)
V_rr(3),V_phphi(3),V_ll(3)	T_rr(3),T_phphi(3),T_ll(3)	eta(1)
V_rphi(3),V_rl(3),V_phil(3)	T_rphi(3),T_rl(3),T_phil(3)	THETA(2)
V_xx(2),V_yy(2),V_zz(2)	T_xx(2),T_yy(2),T_zz(2)	(*)N(2)
(*)V_xy(3),(*)V_xz(3),(*)V_yz(3)	(*)T_xy(3),(*)T_xz(3),(*)T_yz(3)	zeta_Ell(1)
W(1)	(*)delta g(2)	(*)zeta(2)
gravity_vector_gX_gY_gZ(2)	delta g_sa(1)	
g_sa(1)	DELTA g_sa(1)	
W_rr(1)	T_rr(1)	

Explicação dos símbolos presentes na Tabela 4:

- "V" - potencial gravitacional;
- "W" - potencial de gravidade;
- "gravity_vector_gX_gY_gZ" - vetor gravidade;
- "T" - potencial perturbador;
- "delta g" - distúrbio de gravidade;
- "DELTA g" - anomalia de gravidade;
- "xi" - componente norte-sul da deflexão da vertical;
- "eta" - componente leste-oeste da deflexão da vertical;
- "THETA" - deflexão total da vertical;
- "N" - ondulação geoidal (altura geodal);
- "zeta_Ell" - anomalia de altura generalizada;
- "zeta" - anomalia de altura.

Para calcular a ondulação geoidal (N) e a anomalia de altura (ζ), é necessário importar um modelo digital de terreno, como o DTM2006.0 (Pavlis et al., 2007). O GrafLab reconhece apenas uma estrutura específica do arquivo DTM, conforme mostrado na Tabela 1. Caso esses dois funcionais sejam calculados, a janela de diálogo para importar o arquivo DTM de entrada aparecerá imediatamente após clicar no botão "OK".

Cada funcional do geopotencial pode ser avaliado por qualquer um dos três métodos de cálculo de *fnALFs*, exceto para os tensores gravitacionais e perturbadores no LNOF. Como essas expressões não singulares foram ligeiramente modificadas, o método da coluna direta, quando combinado com o esquema de Horner, torna-se ineficiente para as novas fórmulas e, portanto, não foi utilizado nesse caso.

Para avaliar os erros de comissão das funcionais, a caixa de seleção "**Commission Error**" deve ser marcada. O GrafLab permite calcular os erros de comissão para todas as funcionais mencionadas anteriormente, exceto para os tensores gravitacionais e perturbadores no LNOF: "*V_{xx}*"; "*V_{yy}*"; "*V_{zz}*"; "*V_{xy}*"; "*V_{xz}*"; "*V_{yz}*"; "*T_{xx}*"; "*T_{yy}*"; "*T_{zz}*"; "*T_{xy}*"; "*T_{xz}*"; "*T_{yz}*".

Deve-se ter em mente que a avaliação do erro de comissão tem requisitos muito maiores no PC, devido ao grande tamanho da matriz de variância-covariância do erro. Em geral, isso

significa que o grau máximo “M” é reduzido de milhares e centenas para dezenas, e o número de pontos de computação também precisa ser reduzido.

Ao clicar no botão “**Computation of fnALFs**” (Cálculo de fnALFs), uma nova janela de diálogo será exibida, na qual o usuário poderá escolher uma das três abordagens para avaliar os valores de fnALFs.

Se o usuário estiver trabalhando no MATLAB, os dados calculados podem ser representados em um mapa utilizando uma projeção cartográfica selecionada automaticamente, como a projeção pseudocilíndrica de Robinson, a projeção cônica equidistante ou a projeção azimutal equidistante, entre outras.

Ao clicar no botão “**Display data settings**”, uma nova janela de diálogo será exibida, permitindo ao usuário configurar os parâmetros de saída necessários para o mapa exportado. Essa opção está disponível apenas quando o cálculo for realizado em uma grade regular.

O botão “**Output folder and file**” permite especificar a pasta de destino e o prefixo de todos os arquivos exportados, sem nenhum sufixo (ex: *Prefix*).

Ao marcar a opção “**Export data**”, um arquivo contendo os dados calculados será gerado, por exemplo, “*Prefix.txt*”. Caso a opção “**Export report**” seja selecionada, um arquivo de relatório com informações detalhadas sobre o cálculo será criado automaticamente com o sufixo *_Report.txt*, como *Prefix_Report.txt*.

Se a opção “**Display data**” estiver ativada, o GrafLab também gerará um arquivo gráfico (ou vários, dependendo do número de funcionais calculados) no formato selecionado pelo usuário, podendo ser *bmp*, *emf*, *eps*, *jpeg*, *pdf*, *png* ou *tiff*. Essa função somente funciona dentro do Matlab. Nos Anexos 2, 3 e 4 são apresentados exemplos de script em octave que geram figuras em projeções geográficas.

Quando todos os parâmetros de entrada e arquivos de entrada necessários tiverem sido inseridos, após clicar no botão “**OK**”, o cálculo será iniciado. À esquerda desse botão, há uma linha de status que fornece breves explicações durante todo o processo computacional (“**Loading GGM file...**”, valor atual da variável *m* no loop dependente de ordem, “**Displaying data...**”, ...), para que se possa ver claramente em que parte do cálculo está o GrafLab. Após o cálculo bem-sucedido, será exibido o status “**Computation has been finished**” (O cálculo foi concluído). Se algum dos parâmetros de entrada ou arquivos de entrada tiver sido inserido em

um formato incorreto, o GrafLab abrirá uma caixa de diálogo de mensagem ou de erro com a descrição do erro.

2. Executando o GrafLab sem interface gráfica

Para trabalhar sem a interface gráfica (GUI), é preciso utilizar a “Janela de comandos” do aplicativo Octave/MATLAB. Direcionar a linha de comando para o diretório onde o aplicativo GrafLab.m está instalado.

Como exemplo, o comando será

O diagrama mostra a seguinte linha de comando dividida em subseções:

- Subseção 2.1:** `GrafLab('OK',GM,R,nmin,nmax,elipsoide,'GGM_path',`
- Subseção 2.2:** `coord,point_type,lat_min,lat_step,lat_max,lon_min,lon_step,lon_max,h,`
- Subseção 2.3:** `'Input_data_path',lat,lon,h2,`
- Subseção 2.4:** `'Output_path',Functional_or_Commission,Functional,fnALFs,DTM_path,Export_dat`
- Subseção 2.5:** `a_txt,Export_report,Export_data_mat,`
- Subseção 2.6:** `Display_data,Graphic_format,Colormap,Number_of_colors,DPI,Status_bar)`
- Subseção 2.7:** (parte da subseção 2.6)

A primeira variável é a `vstpar` que se define através da string 'OK'.

As outras variáveis serão descritas nas próximas subseções de 2.1 a 2.8.

2.1 Seleção do modelo global de geopotencial e sistema de referência

- “GM” - constante gravitacional geocêntrica do MGG (m^3s^{-2});
- “R” - raio da esfera de referência do MGG (m);
- “nmin” - grau mínimo da expansão harmônica esférica;
- “nmax” - grau máximo da expansão harmônica esférica. Para usar automaticamente o grau máximo do modelo geopotencial global importado, defina esta variável como a string “nmaxMGG”;
- “elipsoide” - sistemas de referência geodésicos: esta variável pode ser um escalar (1 - GRS80, 2 - WGS84) ou um vetor com 5 elementos [GM a e C20 omega], onde "GM" é a constante gravitacional geocêntrica ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-2}$), "a" é o semi-eixo maior (m), "e" é a

primeira excentricidade, "C20" é o C20 totalmente normalizado e "omega" é a velocidade angular ($\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$);

- "GGM_path" - caminho (absoluto ou relativo) para o arquivo MGG (ou para o arquivo da matriz de covariância se "Functional_or_Commission = 1", veja abaixo).

2.2 Seleção do tipo de ponto

- "coord" - tipo de coordenadas de entrada: 0 - elipsoidal, 1 - esférica;
- "point_type" - tipo de ponto: 0 - grade, 1 - carregar dados espalhados, 2 - pontual.

2.3 Especificações para o formato de grade (*grid mode*)

Se `point_type == 0`, as seguintes variáveis devem ser consideradas: `lat_min`, `h`. Caso contrário, essas variáveis são ignoradas e podem ser atribuídas a qualquer valor, como "{}".

A grade pode ser definida de duas maneiras, aqui denominadas i) e ii). Não é permitida a combinação dessas duas opções.

- "lat_min" - i) Latitude mínima em graus (escalares);
- ii) Vetor definindo os paralelos da grade em graus;
- "lat_step" - i) Espaçamento da grade na latitude em graus (escalares);
- ii) String 'empty';
- "lat_max" - i) Latitude máxima em graus (escalares);
- ii) String 'empty';
- "lon_min" - i) Longitude mínima em graus (escalares);
- ii) Vetor definindo os meridianos da grade em graus;
- "lon_step" - i) Espaçamento da grade na longitude em graus (escalares);
- ii) String 'empty';
- "lon_max" - i) Longitude máxima em graus (escalares);
- ii) String 'empty';
- "h" - Altura acima da superfície de referência em metros (escalares). No caso de coordenadas de entrada elipsoidais (`coord == 0`), o elipsoide de referência (por exemplo, GRS80 ou WGS84) atua como superfície de referência. Nesse contexto, `h` representa a altura elipsoidal. Já no caso de coordenadas de entrada esféricas (`coord == 1`), a superfície de referência é uma esfera de raio `R` (veja acima). Assim, `h` corresponde à altura acima dessa esfera, medida na direção radial.

2.4 Especificações para o modo de carregamento de dados

Se `point_type == 1`, a variável “Input_data_path” deve ser considerada. Caso contrário, ela é ignorada e pode ser definida com um valor arbitrário, como “[]”.

- “Input_data_path” - Caminho para o arquivo que especifica os pontos de cálculo.

2.5 Especificações para o modo ponto a ponto

Se `point_type == 2`, as variáveis `lat`, `lon` e `h2` devem ser consideradas. Caso contrário, essas variáveis são ignoradas e podem ser definidas com um valor arbitrário, como [].

- “lat” - Latitudes em graus (vetor coluna ou escalar);
- “lon” - Longitude em graus (vetor coluna ou escalar);
- “h2” - Alturas elipsoidais (se “coord == 0”) ou raios esféricos (se “coord == 1”) ambos em metros.

2.6 Parâmetros calculados e seleção de saída

- “Output_path” - Caminho para o arquivo de saída, sem sufixo de extensão;
- “Functional_or_Commission” - Cálculo: 0 - funcional, 1 - erro de comissão;
- “Functional” - Vetor coluna que define os funcionais a serem calculados (veja a lista abaixo). O número total de elementos nesse vetor não pode exceder 4;
- “fnALFs” - Cálculo de fnALFs usando: 1 - método padrão de coluna direta, 2 - método modificado de coluna direta, 3 - aritmética de faixa estendida;
- “DTM_path” - caminho do arquivo que informa os coeficientes harmônicos do modelo digital de terreno adotado. Arquivo exigido para as funcionais "Ondulação do geoide" ou a "Anomalia de altura";
- “Export_data_txt” - Exportar dados para um arquivo txt: 0 - Não, 1 - Sim;
- “Export_report” - Exportar relatório: 0 - Não, 1 - Sim;
- “Export_data_mat” - Exportar dados para um arquivo MathLab : 0 - Não, 1 - Sim

2.7 Configurações de exibição de dados

- “Display_data” - Exibição de dados (disponível apenas se “point_type == 0”)

0 – Não exibir dados.

1 – Sim, utilizando o *Mapping Toolbox* (processo mais lento, mas gera um mapa de contorno visualmente aprimorado em uma projeção cartográfica).

2 – Sim, utilizando a função "imagesc" (processo mais rápido, porém exibe os dados apenas como uma matriz). Se `Display_data == 0` ou "`isempty(Display_data)`", as variáveis "Graphic_format", ..., "DPI" são ignoradas e podem ser definidas como [], por exemplo.

- "Graphic_format" - Formato do arquivo gráfico: 1 - bmp, 2 - emf, 3 - eps, 4 - jpeg, 5 - pdf, 6 - png, 7 - tiff;
- "Colormap" - Mapa de cores: 1 - jet, 2 - hsv, 3 - quente, 4 - frio, 5 - primavera, 6 - verão, 7 - outono, 8 - inverno, 9 - cinza, 10 - osso, 11 - cobre, 12 - rosa, 13 - linhas;
- "Number_of_colors" - Número de cores no mapa selecionado;
- "DPI" - Variável autoexplicativa;
- "Status_bar" - Exibir o progresso computacional na janela de comandos.

2.8 Lista de funcionais que podem ser calculados

Os números atribuídos a cada funcional correspondem aos valores de entrada da variável "*Functional*". As funcionais 10 e 19 serão usadas para apresentar exemplos de uso do GrafLab nas subseções 2.9 a 2.12.

- 2 - Deflexão da vertical η (componente leste-oeste);
- 3 - Deflexão da vertical ξ (componente norte-sul);
- 4 - Deflexão da vertical Theta (total);
- 5 - Potencial perturbador;
- 6 - Tensor perturbador (T_{rr} , $T_{\phi\phi}$, $T_{\lambda\lambda}$);
- 7 - Tensor perturbador ($T_{r\phi}$, $T_{r\lambda}$, $T_{\phi\lambda}$);
- 8 - Tensor perturbador no LNOF (T_{xx} , T_{yy} , T_{zz});
- 9 - Tensor perturbador no LNOF (T_{xy} , T_{xz} , T_{yz});
- 10 - Ondulação do geoide;
- 11 - Potencial gravitacional;
- 12 - Tensor gravitacional (V_{rr} , $V_{\phi\phi}$, $V_{\lambda\lambda}$);
- 13 - Tensor gravitacional ($V_{r\phi}$, $V_{r\lambda}$, $V_{\phi\lambda}$);
- 14 - Tensor gravitacional no LNOF (V_{xx} , V_{yy} , V_{zz});
- 15 - Tensor gravitacional no LNOF (V_{xy} , V_{xz} , V_{yz});

- 16 - Vetor de gravidade no LNOF (g_X , g_Y , g_Z);
- 17 - Gravidade na aproximação esférica (magnitude de vetor gravidade em aproximação esférica);
- 18 - Potencial de gravidade;
- 19 - Anomalia gravidade em aproximação esférica;
- 20 - Distúrbio de gravidade (diferença entre as magnitudes dos vetores de gravidade da terra real e da terra normal);
- 21 - Distúrbio de gravidade em aproximação esférica;
- 22 - Anomalia de altura (aproximação da anomalia de altura ou geoide);
- 23 - Anomalia de altura;
- 24 - Segunda derivada radial do potencial perturbador;
- 25 - Segunda derivada radial do potencial de gravidade.

2.9 Exemplo 1 - Cálculo da ondulação geoidal global

O comando GrafLab para este cálculo é dado por:

```
GrafLab('OK',3986004.415E+8,6378136.3,0,360,1,'EGM96.mat',0,0,-90,  
0.25,90,-  
180,0.25,180,0,[],[],[],[],'EGM96_Geoid_to360',0,10,1,'DTM2006.mat',  
0,1,1,0,[],[],[],[],1)
```

A descrição das opções é dada pela Tabela 5.

Tabela 5 - Opções do comando GrafLab para obtenção do cálculo da ondulação geoidal global

Opções escolhidas	Descrição das opções
'OK'	
3986004.415E+8	GM – Constante gravitacional (m^3s^{-2})
6378136.3	R – Raio da Terra (m)
0	nmin – Grau mínimo do MGG
360	nmax – Grau máximo do MGG
1	Elipsoide de referência GRS80
'EGM96.mat'	GGM_path – Nome do arquivo do MGG
0	coord – Tipo de coordenada de entrada elipsoidal
0	point_type – Tipo de ponto grade
-90	lat_min - Latitude mínima em graus
0.25	lat_step - Espaçamento da grade na latitude em graus
90	lat_max - Latitude máxima em graus

-180	lon_min - Longitude mínima em graus
0.25	lon_step - Espaçamento da grade na longitude em graus
180	lon_max - Longitude máxima em graus
0	h - Altura acima da superfície de referência (m)
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
'EGM96_Geoid_to360'	Output_path – Nome para o arquivo de saída
0	Functional_or_Commission – Opção funcional
10	Functional – Opção da funcional escolhida ondulação geoidal, ver a Seção 2.8
1	fnALFs - Método padrão de coluna direta
'DTM2006.mat'	DTM_path – Caminho do arquivo que informa os coeficientes harmônicos do modelo digital de terreno adotado
0	Export_data_txt – Opção “Não”
1	Export_report – Opção “Sim”
1	Export_data_mat - Opção “Sim”
0	Display_data – Opção não exibir dados

[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
1	status_bar - Exibir o progresso computacional na janela de comandos

A Figura 7 apresenta o resultado do comando acima, o script em Octave está no Anexo 2, onde se utilizou o aplicativo M_Map (Pawlowicz, 2020) para gerar as figuras.

O M_Map é um conjunto de ferramentas de mapeamento escritas para o Matlab (e Octave). Este inclui:

1. Rotinas para projetar dados em 21 projeções diferentes, recorrendo a modelos de terra esféricos e elipsoidais;
2. Inclui também uma rotina de geração de grade para criar eixos com limites em termos de lat/long ou em termos planares X/Y;
3. Inclui também um banco de dados de linhas da costa oceânica com uma resolução de 1/4 de grau;
4. Um banco de dados global de elevação com uma resolução de 1 grau;
5. Integrações com bancos de dados de alta resolução de linhas de costa oceânica e batimetria, disponíveis gratuitamente;
6. Além de outras funcionalidades para construção de mapas.

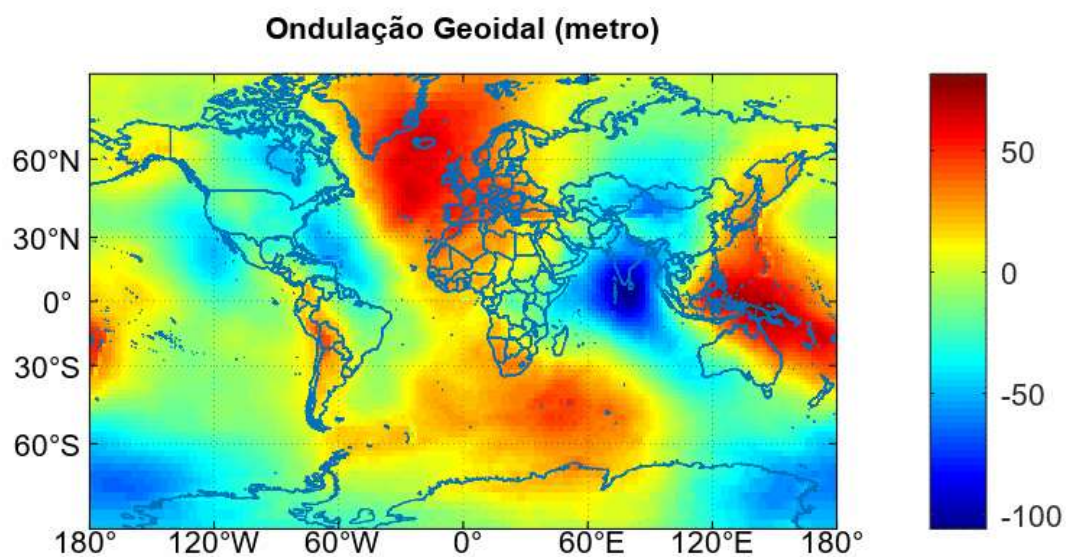


Figura 7 - Ondulação geoidal global.

2.10 Exemplo 2 - Cálculo da ondulação geoidal para América do Sul

O comando GrafLab para este cálculo dado por:

```
GrafLab('OK',3986004.415E+8,6378136.3,0,360,1,'EGM96.mat',0,0,-60,  
0.25,24,-100,0.25,-  
30,0,[],[],[],[],'EGM96_Geoid_AMS',0,10,1,'DTM2006.mat',0,1,1,0,[],[  
],[],[],1)
```

A descrição das opções é dada pela Tabela 6.

Tabela 6 - Opções do comando GrafLab para obtenção do cálculo da ondulação geoidal para a América do Sul

Opções escolhidas	Descrição das opções
'OK'	
3986004.415E+8	GM – Constante gravitacional (m^3s^{-2})
6378136.3	R – Raio da Terra (m)
0	nmin – Grau mínimo do MGG
360	nmax – Grau máximo do MGG
1	Elipsoide de referência GRS80
'EGM96.mat'	GGM_path – Nome do arquivo do MGG
0	coord – Tipo de coordenada de entrada elipsoidal
0	point_type – Tipo de ponto grade
-60	lat_min - Latitude mínima em graus
0.25	lat_step - Espaçamento da grade na latitude em graus
24	lat_max - Latitude máxima em graus

-100	lon_min - Longitude mínima em graus
0.25	lon_step - Espaçamento da grade na longitude em graus
-30	lon_max - Longitude máxima em graus
0	h - Altura acima da superfície de referência (m)
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
'EGM96_Geoid_AMS'	Output_path – Nome para o arquivo de saída
0	Functional_or_Commission – Opção funcional
10	Functional – Opção da funcional escolhida ondulação geoidal, ver a Seção 2.8
1	fnALFs - Método padrão de coluna direta
'DTM2006.mat'	DTM_path – Caminho do arquivo que informa os coeficientes harmônicos do modelo digital de terreno adotado
0	Export_data_txt – Opção “Não”
1	Export_report – Opção “Sim”
1	Export_data_mat - Opção “Sim”
0	Display_data – Opção não exibir dados

☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
1	status_bar - Exibir o progresso computacional na janela de comandos

A Figura 8 apresenta o resultado do comando acima, o script em Octave está no Anexo 3, onde se utilizou também o aplicativo M_Map para gerar essa figura.

Ondulação Geoidal para América do Sul (metro)

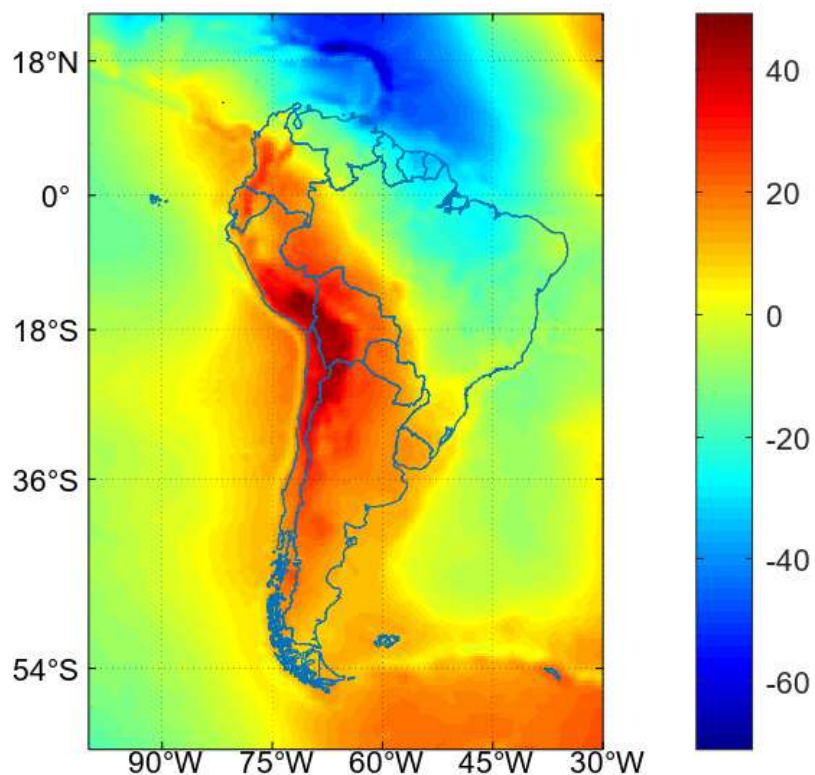


Figura 8 - Ondulação geoidal para América do Sul.

[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
'Lat_Lon_h.txt'	Input_data_path - Caminho para o arquivo que especifica os pontos de cálculo.
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
'lat_lon_linha_EGM96_linha'	Output_path - Caminho para o arquivo de saída
0	Functional_or_Commission – Opção funcional
19	Functional – Opção da funcional escolhida para anomalia de gravidade esférica, ver a Seção 2.8
1	fnALFs - Método padrão de coluna direta
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada
1	Export_data_txt – Opção “Sim”
1	Export_report – Opção “Sim”
0	Export_data_mat - Opção “Não”
[]	[] - Símbolo para opção não utilizada

☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
☐	☐ - Símbolo para opção não utilizada
1	status_bar - Exibir o progresso computacional na janela de comandos

A Figura 9 apresenta o resultado do comando acima, o script em Octave está no Anexo 4, onde se utilizou também o aplicativo M_Map para gerar a figura.

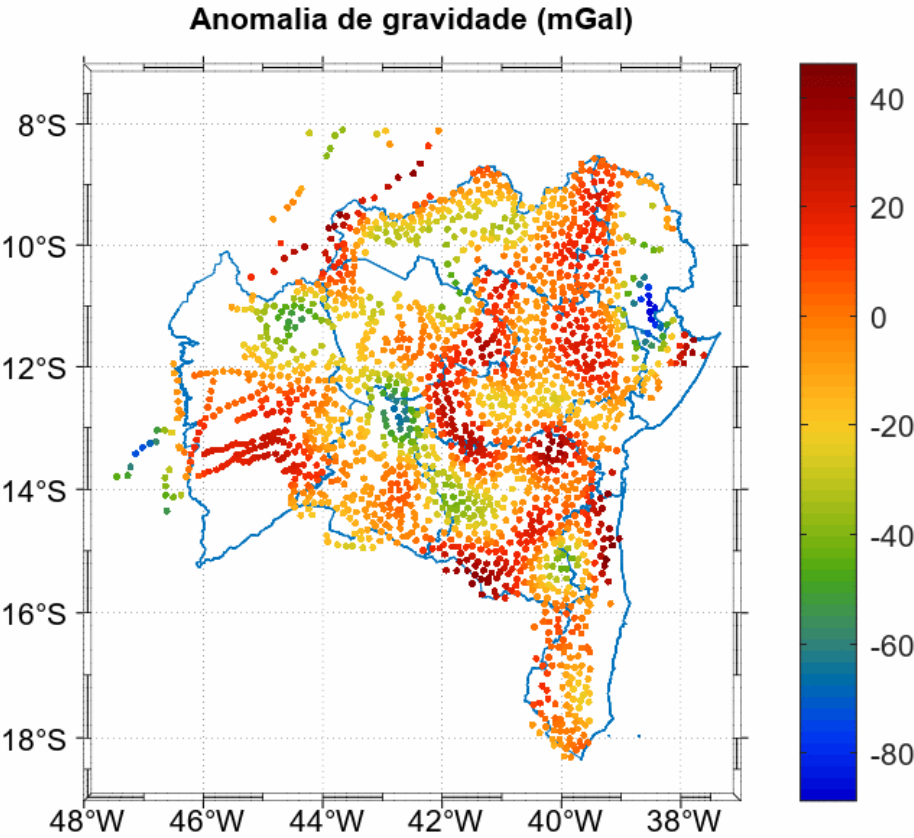


Figura 9 - Anomalia de gravidade esférica para o estado da Bahia.

2.12 Exemplo 4 - Comparação entre anomalia dos dados gravimétricos da Bahia com o MGG

Nesta seção, são apresentados os resultados das comparações entre as anomalias ar livre, calculadas para os 1.907 pontos gravimétricos da Bahia, e as anomalias de gravidade do modelo MGG XGM2019e para os mesmos pontos. Esta última anomalia foi obtida nos graus 200, 360, 720 e 2159, através do aplicativo GrafLab. A Tabela 8 e a Figura 10 apresentam os resultados estatísticos e os histogramas dessa comparação, respectivamente.

Observa-se nesta comparação que as anomalias de gravidade obtidas para o grau 2159 apresentam um resultado melhor em relação aos outros graus. A partir das Figuras 11 e 12, é possível analisar a convergência através da escala de cores da diferença entre a anomalia ar livre e a de gravidade para os graus 200 e 2159, respectivamente.

O comando GrafLab para este cálculo dado por:

```
GrafLab('OK', 3986004.415E+8, 6378136.3, 0, 200, 1, 'XGM2019e_2159.gfc', 0,
1, [], [], [], [], [], [], [], [], 'Lat_Lon_h.txt', [], [], [], 'lat_lon_linha_XGM20
19e_2159_200', 0, 19, 1, [], 1, 1, 0, [], [], [], [], [], 1)
```

```
GrafLab('OK', 3986004.415E+8, 6378136.3, 0, 360, 1, 'XGM2019e_2159.gfc', 0,
1, [], [], [], [], [], [], [], [], 'Lat_Lon_h.txt', [], [], [], 'lat_lon_linha_XGM20
19e_2159_360', 0, 19, 1, [], 1, 1, 0, [], [], [], [], [], 1)
```

```
GrafLab('OK', 3986004.415E+8, 6378136.3, 0, 720, 1, 'XGM2019e_2159.gfc', 0,
1, [], [], [], [], [], [], [], [], 'Lat_Lon_h.txt', [], [], [], 'lat_lon_linha_XGM20
19e_2159_720', 0, 19, 1, [], 1, 1, 0, [], [], [], [], [], 1)
```

```
GrafLab('OK', 3986004.415E+8, 6378136.3, 0, 2159, 1, 'XGM2019e_2159.gfc', 0, 1, [], [], [], [], [], [], [], [], 'Lat_Lon_h.txt', [], [], [], 'lat_lon_linha_XGM2019e_2159_2159', 0, 19, 1, [], 1, 1, 0, [], [], [], [], [], 1)
```

Tabela 8 - Análise estatística entre anomalia ar livre e anomalia de gravidade dos dados da Bahia com os graus 200, 360, 720 e 2159

mGal	Ar livre - Anomalia de gravidade 200 Freq.200	Ar livre - Anomalia de gravidade 360 Freq.360	Ar livre - Anomalia de gravidade 720 Freq.720	Ar livre - Anomalia de gravidade 2159 Freq.2159
Média	-5,148	-4,971	-4,567	-3,403
Desvio padrão	19,401	13,391	10,33	8,401
Mínimo	-75,653	-90,544	-57,89	-40,079
Máximo	101,503	87,992	85,599	80,758

Análise da Anomalia Ar Livre

Comparação com os modelos geopotenciais

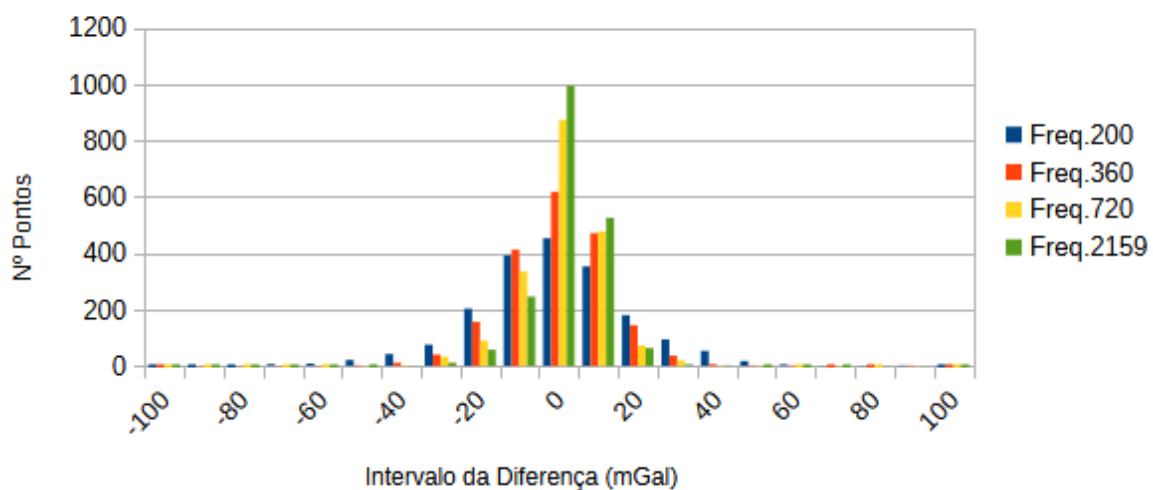


Figura 10 - Análise da anomalia ar livre em comparação com os modelos geopotenciais.

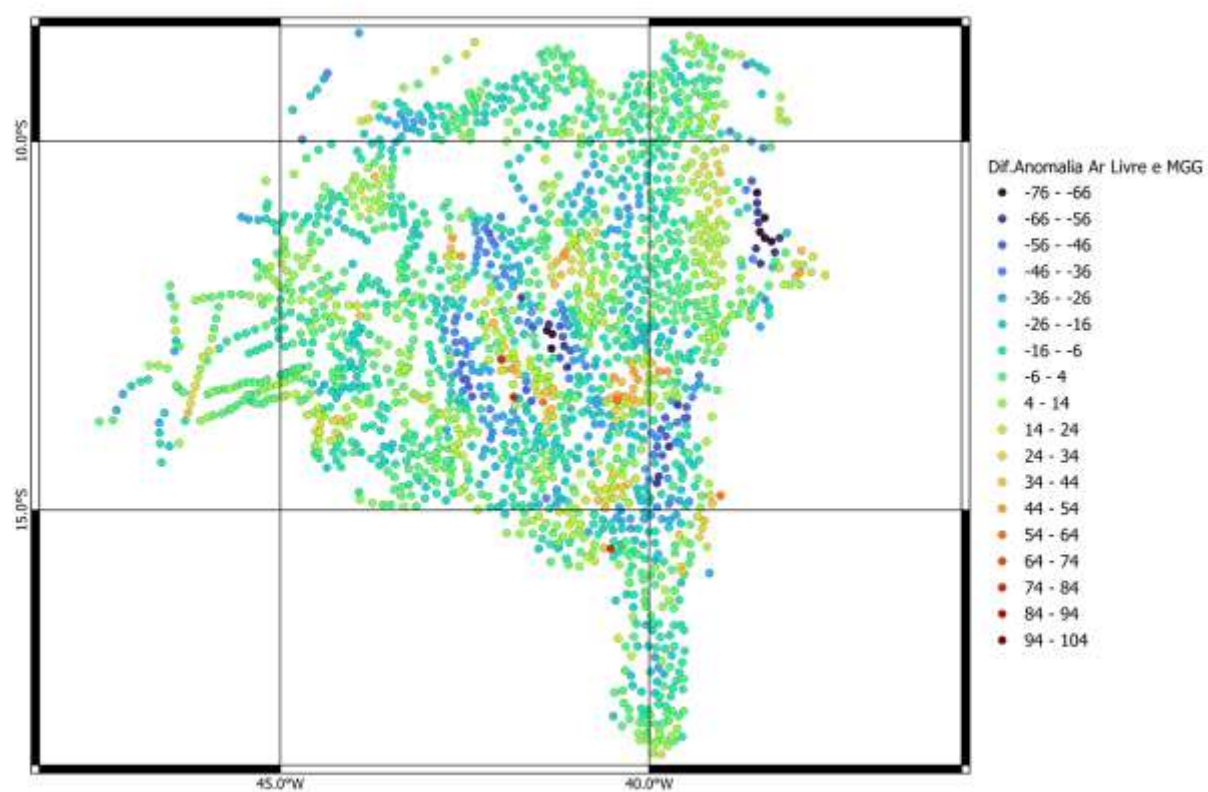


Figura 11 - Diferença da anomalia ar livre e o MGG XGM2019e (grau 200).

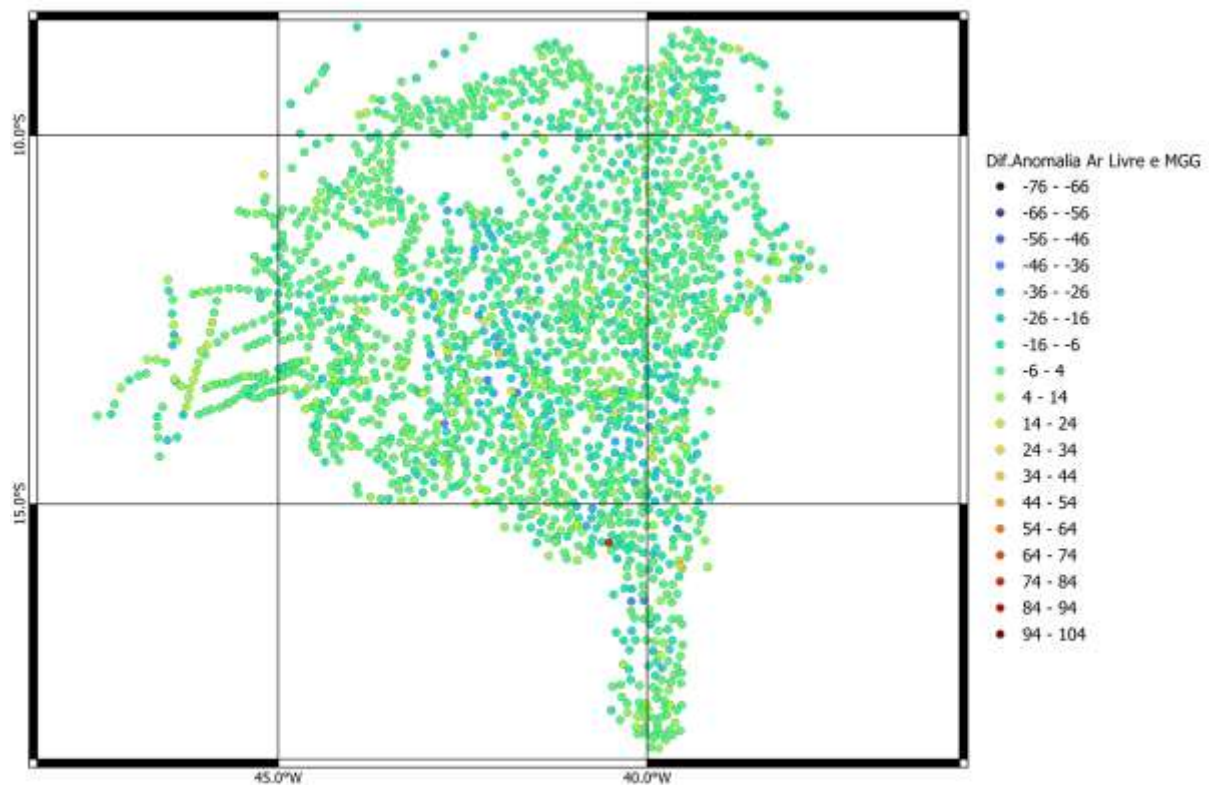


Figura 12 - Diferença da anomalia ar livre e o MGG XGM2019e (grau 2159).

Referências Bibliográficas

Bucha, B., Janák, J., 2013. A MATLAB-based graphical user interface program for computing functionals of the geopotential up to ultra-high degrees and orders. *Computers & Geosciences* 56, 186–196, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.03.012>.

Moritz, H. 2000, Geodetic Reference System 1980, *Journal of Geodesy*, 74(1), pp. 128-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001900050278>

NIMA 2000, NIMA TR 8350.2 Department of Defence World Geodetic System 1984: Its definition and relationship with local geodetic systems, Third Edition, 3 January 2000, US National Imagery and Mapping Agency, Washington DC. Disponível em: <https://gis-lab.info/docs/nima-tr8350.2-wgs84fin.pdf>

Pawlowicz, R., 2020. "M_Map: A mapping package for MATLAB", version 1.4m, [Computer software], available online at www.coas.ubc.ca/~rich/map.html.

Petrovskaya, M.S., Vershkov, A.N., 2006. Non-singular expressions for the gravity gradients in the local north-oriented and orbital reference frames. *J Geod* 80(3):117–127. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00190-006-0031-2>

ANEXO 1 - Transformar arquivo com extensão “gfc” em formato MATLAB

No site do ICGEM é possível fazer o download dos MGGs com extensão “gfc”.

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

Script txt2matllab.sh

```
#!/bin/bash  
  
read -p 'nome do MGG (sem a extensão):' modelo  
sed '1,/end_of_head/d' $modelo.gfc | gawk '{if($1 ~ "gfc")  
printf("%5d%5d%20.11e%20.11e%16.7e%16.7e\n",$2,$3,$4,$5,$6,$7)}' > $modelo.txt  
cat << END > txt2mat.m  
#!/usr/bin/octave -qf  
  
load "$modelo.txt"  
  
save -mat-binary $modelo.mat  
END  
chmod a+x txt2mat.m  
./txt2mat.m
```

Execução do script no terminal

```
$ bash ./txt2matllab.sh
```

nome do MGG (sem a extensão): XGM2019e

ANEXO 2 - Exemplo do cálculo de ondulação geoidal global (altura geoidal)

Cálculo da altura geoidal utilizando o modelo geopotencial global EGM96 grau total para todo o globo.

```
GrafLab('OK',3986004.415E+8,6378136.3,0,360,1,'EGM96.mat',0,0,-90,0.25,90,-180,0.25,180,0,[],[],[],[],'EGM96_Geoid_to360',0,10,1,'DTM2006.mat',0,1,1,0,[],[],[],[],1)
```

```
addpath D:\Projeto\OCTAVE\m_map1.4\m_map
```

```
addpath D:\Projeto\OCTAVE\m_map1.4\m_map\data\gshhg-bin-2.3.7
```

```
filename = 'EGM96_Geoid_to360.mat'; % Substitua pelo seu nome de arquivo real
```

```
delimiter = ' '; % Substitua pelo seu delimitador, se necessário (e.g., ' ', '\t')
```

```
data = dlmread(filename);
```

```
latitude = data(:, 1);
```

```
longitude = data(:, 2);
```

```
height_anomaly = data(:, 3);
```

```
% Defina a resolução de grade desejada (ajuste conforme necessário)
```

```
lat_min = min(latitude);
```

```
lat_max = max(latitude);
```

```
lon_min = min(longitude);
```

```
lon_max = max(longitude);
```

```
grid_resolution = 2; % Exemplo: grade de 1 grau.
```

```
[lon_grid,lat_grid] = meshgrid(lon_min:grid_resolution:lon_max, lat_min:grid_resolution:lat_max);
```

```
% print(lon_grid,lat_grid);
```

```
% Interpolar a anomalia de altura na grade
```

```

height_anomaly_grid = griddata(longitude, latitude, height_anomaly,
lon_grid, lat_grid, 'linear'); % Use interpolação 'linear',
'natural' ou 'cúbica'
figure;
set (0, "defaultaxesfontname", "Helvetica") % Esta é a linha a ser
adicionada ANTES de plotar
lon=[-180:180];
m_proj('miller','lat',82);
m_pcolor(lon_grid,lat_grid,height_anomaly_grid)
M=m_shaperead('D:\Projeto\OCTAVE\shapefile\ne_10m_admin_0_countries\
ne_10m_admin_0_countries');
for k=1:length(M.ncst),
    m_line(M.ncst{k}(:,1),M.ncst{k}(:,2));
end;
% m_coast('linewidth',0.5);
m_grid();
colorbar();
colormap();
title('Ondulação Geoidal
(metro)','fontsize',10,'fontweight','bold');
colormap jet;
set(gcf,'color','w');
h = gcf;
saveas(h, "image1.gif");

```

ANEXO 3 - Exemplo do cálculo de ondulação geoidal para América do Sul (altura geoidal)

Cálculo da altura geoidal utilizando o modelo geopotencial global EGM96 grau 360 para América do Sul.

```
GrafLab('OK',3986004.415E+8,6378136.3,0,360,1,'EGM96.mat',0,0,-  
60,0.25,24,-100,0.25,-  
30,0,[],[],[],[],'EGM96_Geoid_AMS',0,10,1,'DTM2006.mat',0,1,1,0,[],[  
],[],[],1)  
filename = 'EGM96_Geoid_AMS.mat'; % Substitua pelo seu nome de  
arquivo real  
delimiter = ' '; % Substitua pelo seu delimitador, se  
necessário (por exemplo, ' ', '\t')  
addpath D:\Projeto\OCTAVE\m_map1.4\m_map  
data = dlmread(filename);  
latitude = data(:, 1);  
longitude = data(:, 2);  
height_anomaly = data(:, 3);  
% Defina a resolução de grade desejada (ajuste conforme necessário)  
lat_min = min(latitude);  
lat_max = max(latitude);  
lon_min = min(longitude);  
lon_max = max(longitude);  
grid_resolution = 0.25; % Exemplo: grade de 1 grau.  
  
[lon_grid,lat_grid] = meshgrid(lon_min:grid_resolution:lon_max,  
lat_min:grid_resolution:lat_max);  
  
% Interpolar a anomalia de altura na grade  
height_anomaly_grid = griddata(longitude, latitude, height_anomaly,  
lon_grid, lat_grid, 'linear'); % Use interpolação 'linear',  
'natural' ou 'cúbica'  
hf=figure();
```

```

set (0, "defaultaxesfontname", "Helvetica") % Esta é a linha a ser
adicionada ANTES de plotar
m_proj('Mercator','lat',[-60 24], 'lon', [-100 -30]);
m_pcolor(lon_grid,lat_grid,height_anomaly_grid)
M=m_shaperead('D:\Projeto\OCTAVE\shapefile\South_America\South_Ameri
ca');
for k=1:length(M.ncst),
    m_line(M.ncst{k}(:,1),M.ncst{k}(:,2));
end;
%m_coast('linewidth',0.5);
m_grid();
colorbar();
colormap();
title('Ondulação Geoidal para América do Sul
(metro)','fontsize',10,'fontweight','bold');
colormap jet;
set(gcf,'color','w');
h = gcf;
saveas(h, "image2.gif");

```

ANEXO 4 - Exemplo de anomalia de gravidade em aproximação esférica

Cálculo da anomalia de gravidade utilizando como exemplo a região da Bahia. Esses dados foram levantados pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), são pontos dispersos no estado. Nesse cálculo foi utilizado o modelo geopotencial global EGM96 até grau 360.

```
%GrafLab('OK',3986004.415E+8,6378136.3,0,360,1,'EGM96.gfc',0,1,[],[],  
[],[],[],[],[],'Lat_Lon_h.txt',[],[],[],'lat_lon_linha_EGM96_linha'  
,0,19,1,[],1,1,0,[],[],[],[],[],1)
```

```
addpath D:\Projeto\OCTAVE\m_map1.4\m_map
```

```
lp=load('D:\Projeto\CPRM_BA_Luana\lat_lon_linha_EGM96_linha.txt');
```

```
hf=figure();
```

```
set (0, "defaultaxesfontname", "Helvetica") % Esta é a linha a ser
adicionada ANTES de plotar
```

```
m_proj('Mercator', 'lat', [-19 -7], 'lon', [-48 -37]);
```

```
caxis([-120 82]);
```

```
m_scatter(lp(:,2),lp(:,1), 6, lp(:,4), "filled");
```

```
% Configurar o mapa de cores (opcional)
```

```
colormap(m_colmap('jet'));% Ou outras opções como hot, cool, gray,  
etc.
```

```
% Adicionando uma barra de cores (opcional)
```

```
colorbar;
```

```
title('Anomalia de gravidade  
(mGal)', 'fontsize', 10, 'fontweight', 'bold');
```

```
m_grid('tickdir', 'out', 'box', 'fancy');
```

```
M=m_shaperead('D:\Projeto\OCTAVE\shapefile\BA_RG_Intermediarias_2023\BA_RG_Intermediarias_2023');
```

```
for k=1:length(M.ncst),
```

```
m_line(M.ncst{k}(:,1),M.ncst{k}(:,2));
```

end;

```
set(gcf, 'color', 'w');
```

```
h = gcf;
```



```
saveas(h, "lat_lon_linha_EGM96_linha.gif");
```