

# Gravimetria por satélite no reconhecimento preliminar da articulação crustal das Suítes Graníticas Caçapava do Sul e Santo Ferreira

Nicolas Rodrigues Hispagnol (UNIPAMPA/Campus Caçapava do Sul) e Maximilian Fries (UNIPAMPA/Campus Caçapava do Sul)

Copyright 2021, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 17<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 August 2021.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 17<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

## Abstract

In Brazil, known geologic terrains recognized as mineral provinces are located in crystalline rocks dated from Archean to neo/Paleoproterozoic era. Specifically, in the southern part, the Sul Riograndense Shield located in the borders with Uruguay and Argentina represents peculiar characteristics presenting igneous, metavolcanosedimentary, and metamorphic rocks. It is also well known by geoscientists and recognized due to its metallic mineralization occurrences. This study and the main objective propose a preliminary analysis to detect and define major discontinuities, lithologies, and limits of two large granite intrusions applying satellite gravimetry. Additionally, to data processing and enhancement, Euler Deconvolution was used in order to determine the detected source's estimated depth. Previous geological information, digital elevation model, and results (GIS data integration) allowed to determine in regional scale anomalies related to structures and limits in a deeper context within the shield and granitic batholiths area. Such preliminary information consists in an important subsidy for further studies and support as local scale geophysical ground acquisitions.

## 1. Introdução e objetivos

O Escudo Sul Riograndense (ESRG) se caracteriza pelos seus conjuntos de rochas pré-Cambrianas e cambrianas, as quais compõem a parte sul da província Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1984). É constituído por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, vinculados aos estágios pré, sin e pós colisionais da orogênese Brasileira no Neoproterozóico (Hartmann *et al.*, 2007).

Esta região levanta diversos debates entre os geólogos por conta de sua dificuldade de se explicar a sua formação como uma continuação do Cráton pré-Brasiliano Rio de la Plata, no Rio Grande do Sul (que se estende até o complexo Luis Alves na área Setentrional) (Fragoso César, 1980, 1991, Brito Neves & Cordani 1991) ou independentes. Portanto, a consolidação da existência do Cinturão no Escudo Sul RioGrandense (Fragoso César 1991) e a continuação do Cinturão Dom Feliciano entre as duas áreas (Fragoso César 1980, Fragoso César *et al.* 1987, Basei 1985) ainda são questões em aberto.

Além de divergências sobre a formação do escudo, a sua importância econômica é reconhecida, possuindo diversos

minérios de metais base e ouro como nos municípios de Camaquã, Caçapava do Sul, Lavras do Sul e São Sepé.

No ESRG são amplamente conhecidas e estudadas as ocorrências de corpos intrusivos que tem importante contribuição ao arcabouço estrutural da região e as ocorrências minerais associadas. Dentre estas, próximo ao município de Caçapava do Sul, encontram-se a Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS) e o Granito Santo Ferreira (GSF) (Nardi & Bitencourt, 1989; Remus, 1999) e Ribeiro, 1970).

A Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS) é uma feição extensa e que apresenta cerca de 250 km<sup>2</sup> de afloramento e o Granito Santo Ferreira (GSF), a sudeste da SGCS, caracteriza-se por ser um corpo menor e muito parecido com a SGCS, sendo por conta desta característica considerado da mesma unidade (Bitencourt 1983 e Nardi & Bitencourt, 1989).

Apesar dos mapeamentos realizados nas últimas décadas caracterizando a SGCS e o GSF, estas feições carecem de informações de subsuperfície como limites (laterais e em profundidade) e estruturas associadas. O reconhecimento destas feições é importante no entendimento da articulação destes corpos com as rochas encaixantes. Além disso, a proximidade destes dois corpos, assim como a geometria em profundidade ainda não são plenamente conhecidos. Considerando esses elementos acima descritos, este estudo tem como objetivo aplicar o método geofísico da gravimetria por satélite na detecção e delimitação destes corpos graníticos intrusivos localizados no município de Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

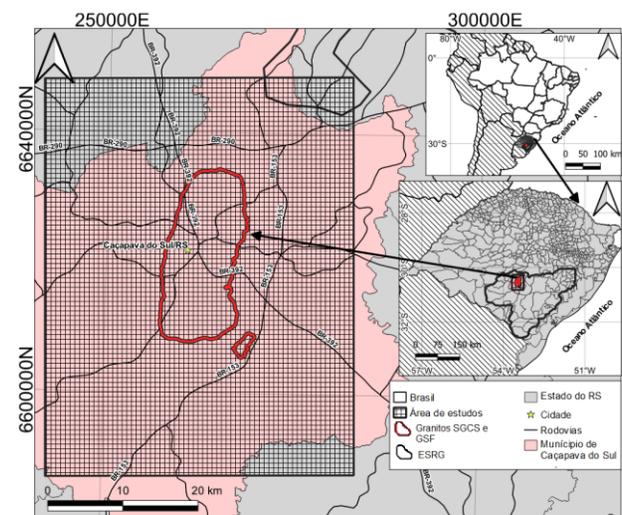


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e polígono (limites) dos dados gravimétricos de satélite. Limites em vermelho são referentes as intrusões graníticas (CGCS e GSF).

**2.Características da área**

A área definida para estudos se encontra ao noroeste da ESRG no entorno da SGCS (Figura 2). A SGCS é intrusiva em metamorfitos de baixo grau. Sendo formado por três fácies principais, perceptível petrográfica e geoquimicamente. Podendo-se divergir em diferentes composições, variando de granítica e granodiorítica (Figueiredo & Bortoluzzi, 1975). Sua estrutura se caracteriza por ser domal e assimétrica alongada nas direções norte e sul. Possuindo uma foliação sub-horizontal no lado leste e nas partes centrais do plúton (Remus, 1999). Os seus principais minerais acessórios são alanita, zircão, apatita, titanita, pirita e magnetita e, secundários nas facies leucograníticas, granda, turmalina e muscovita. Pegmatitos, aplítos e veios de quartzo com pirita e ou hematita são comuns no lado oriental do batólito (Nardi & Bitencourt 1989, Remus 1999). Sua formação é incerta, de acordo com Remus (1999), a sua grande variação na composição estratigráfica dificulta o seu entendimento (Figura 2).

Localizado a sudeste da SGCS, o GSF é descrito com um pequeno stock que foi intrudido na formação Vacacaí, evoluindo para um metamorfismo de contato fácies anfibolítico disfarçado pelas formações Santa Bárbara e Guaritas (Ribeiro (1970). A sua constituição é dada por sienogranitos, muscovita sienogranito, biotita monzogranitos e granada leucogranitos (Figura 2).

Próximo a SGCS e ao GSF encontra-se o Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF) representado por rochas metassedimentares (Nardi & Bitencourt, 1989). À área escolhida possui diversas outras unidades litológicas importantes para a composição do arcabouço estrutural da região (Figura 3).

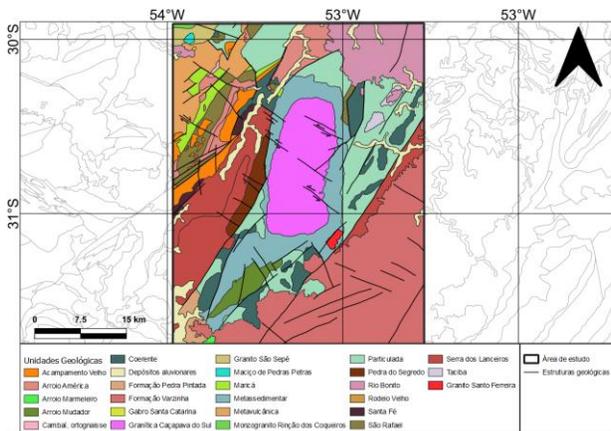


Figura 2 - Mapa geológico dos granitos alvos de estudos e suas litologias adjacente, Modificado UFRGS (1998).

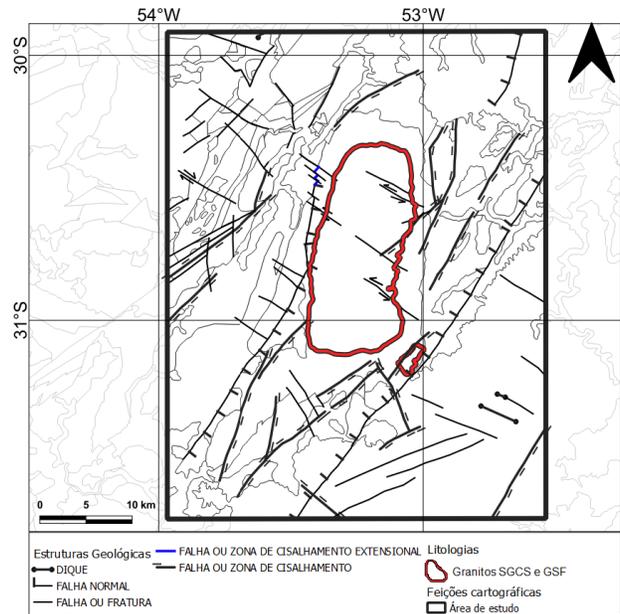


Figura 3 - Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), Granito Santo Ferreira (GSF) (em vermelho) e principais estruturas associadas (CPRM, 2009). Modificado de GeoSGB.

**2.2 Relevo e rede de drenagens**

As modificações na região ao longo do tempo geológico. Devido a fatores paleomorfoclimáticos e tectônicos contribuíram significativamente para uma diversificação de ambientes e os contrastes topográficos. O ESRG encontra-se dividido entre unidades de depressões, planaltos e planícies. Apresenta uma rede de drenagens fortemente associada as principais unidades e estruturas associadas e possui variação altimétrica de 20 a 500 metros (mínimo e máximo respectivamente). As maiores altitudes (440 metros) são representadas pela SGCS e planaltos. As menores, pelas planícies (Figuras 4 e 5).

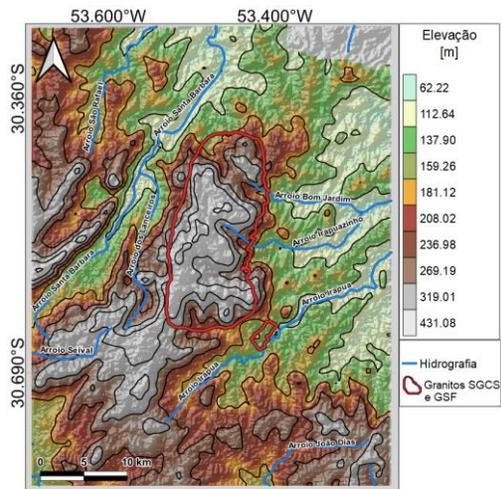


Figura 4- Mapa sombreado em tons de cinza das principais drenagens da área de estudo. Modificado CPRM, 2009).

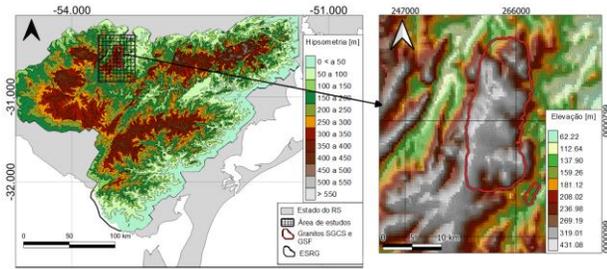


Figura 5 - Mapa da variação altimétrica no ESRG com destaque aos corpos graníticos estudados. (TOPODATA BRASIL, 2008).

### 3. Metodologia

Para a realização deste estudo foram definidas 3 etapas principais:

- Revisão bibliográfica e revisão de dados;
- Geração da base de dados cartográficos, geológicos e geofísicos;
- Integração, análise e interpretação.

As informações geológicas e respectivos mapas foram compilados de UFRGS (1998). Para os dados altimétricos empregados na análise e incremento na interpretação dos resultados foram usados dados de elevação de terreno (resolução de 30m) de TOPODATA (Brasil, 2008). Para a integração de dados geológicos e geofísicos foi usado a plataforma QGIS versão 13.12.2.

A integração de dados de altitude (relevo) foi realizada a partir da base dados disponíveis no Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) do IBGE.

Os dados gravimétricos utilizados neste estudo são disponibilizados pelo *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM) (BARTHELMES, F. & KÖHLER, W, 2016). No estudo foram utilizados um total de 331.400 pontos gravimétricos. Para análise e interpretação dos dados gravimétricos, foram definidos domínios sendo i) estado do Rio Grande do Sul com 100.000 pontos; ii) ESRG com 100.000 pontos; iii) Granitos alvo com 92.806 pontos; iv) CGCS com 100.000 pontos e v) GSF com 31.400 pontos.

Os modelos foram gerados a partir dos modelos gravitacionais da Terra EGM2008 (Pavlis et al., 2012) versão WGS84. Para a geração do *grid* (modelo interpolado) foi adotado o método do inverso da potência das distâncias. O tamanho das células possui um espaçamento de 0.001° para os limites do ESRG, a Suíte Granítica Caçapava do Sul e o granito Santo Ferreira. Um espaçamento de 0.01° foi adotado para o estado Rio Grande do Sul.

Foram utilizadas as medidas dos valores da anomalia Bouguer, as quais levam em conta a atração do material entre a estação e o geóide, ou seja, o efeito da massa topográfica (Telford et al., 1990).

A interpretação qualitativa das profundidades das fontes causativas foi realizada utilizando a técnica de Deconvolução de Euler (Thompson, 1982; Reid et al., 1990), do qual utiliza como principal função o cálculo da profundidade aproximada das anomalias. Foram aplicados

os índices estruturais (*Structural Index*) de 0, 1 e 2. Estes, são adequados para detecção de falhas, corpos cilíndricos horizontalizados e corpos esféricos, respectivamente.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Gravimetria e mapas gerados

A integração dos dados gravimétricos das anomalias Bouguer em um SIG permitiu definir-se domínios detectados por meio das anomalias geofísicas, litologias e estruturas associadas. Utilizando os 331.400 pontos distribuídos e integrados a superfície digital do terreno (MDT) foram definidos quatro mapas:

- Modelo gravimétrico por satélite do estado do Rio Grande do Sul, (Figura 6);
- Modelo gravimétrico por satélite do ESRG, (Figura 7);
- Modelo gravimétrico por satélite da SGCS (Figura 8);
- Modelo gravimétrico por satélite GSF (Figura 9).
- Modelo gravimétrico por satélite dos Granitos apresentados juntos aos dados de Deconvolução de Euler (Figura 10);

Importante considerar que esses corpos plutônicos são associáveis ao relevo e estruturas na região tornando importante a visualização da SGCS e do GSF por meio de mapas gerados.

### 4.2 Variações das anomalias gravimétricas regionais - modelo EGM2008

No mapa gerado para o estado do Rio Grande do Sul os dados gravimétricos observados apresentam distintas variações (Figura 6). Estas, foram divididas em sete quadrantes (Tabela 1). As variações dos valores mínimos e máximos da anomalia Bouguer são de 78,7809 e 91,7887 mGal respectivamente.

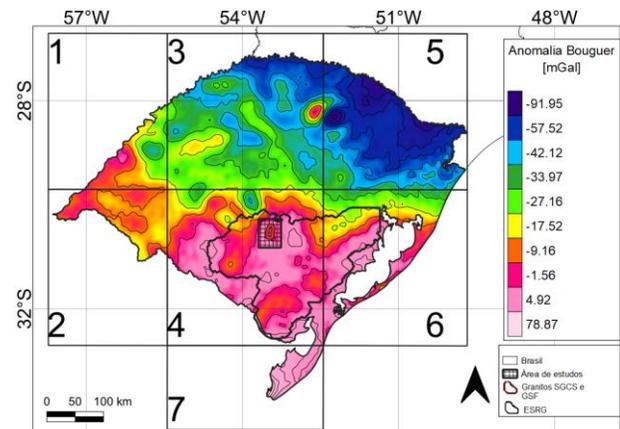


Figura 6 - Mapa da variação dos valores da anomalia Bouguer (modelo EGM2008) do estado do Rio Grande do Sul e área de estudo.

Quadrante	Elevação (variação em metros)	Anomalia Bouguer (mGal)
	(m)	(mGal)
1	33,0892 a 384,796	-40,8997 a 3,16345
2	24,7564 a 377,044	-26,29 a 4,15684
3	18,0329 a 915,452	-91,7887 a 0,404835
4	0,70954 a 566,186	-40,4643 a 27,5231
5	0,96642 a 1378,11	-90,5164 a -29,4247
6	0,90597 a 900,729	-40,2839 a 23,6084
7	0,89824 a 39,3699	1,5198 a 78,7809

Tabela 1 - Valores de anomalia Bouguer e Topografia separados por quadrantes do estado do Rio Grande do Sul

Localizado no quadrante quatro, o ESRG apresenta variações de -27.34 a 21.63 mGal (valores mínimos e máximos respectivamente). Para otimizar a análise foram definidas zonas de "a" a "d". A Tabela 2 contém as variações das anomalias Bouguer visualizadas na Figura 7. As estruturas conhecidas são associáveis as anomalias gravimétricas de geometria alongada. Estas, regionalmente, possuem direção preferencial NE.

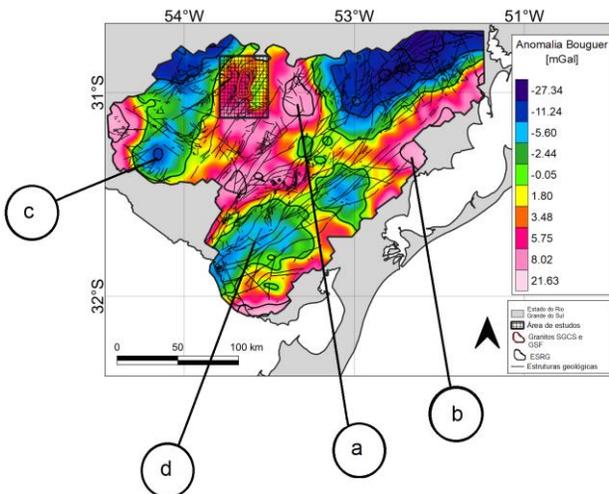


Figura 7 – Mapa da variação da anomalia Bouguer (modelo EGM2008) no ESRG. Polígono menor delimita a área da SGCS e do GSF.

Zonas	Altitude (variação em metros)	Anomalia Bouguer (mGal)
	(m)	(mGal)
a	0.97 a 1378.11	3.41 a 15.05
b	4.34 a 173.24	6.35 a 21.14
c	179.05 a 436.33	-10.71 a -3.30
d	8.00 a 199.31	-0.50 a -5.14

Tabela 2 - Valores de anomalia Bouguer, variação de relevo e zonas definidas para o ESRG.

### 4.3 Anomalias gravimétricas locais – modelo EGM2008

Localmente, na área dos granitos SGCS e GSF as anomalias gravimétricas apresentadas pelo sensor satelital são de -9.05 a 9.00 mGal (mínimos e máximos

respectivamente). Há uma visível correlação com as heterogeneidades das rochas (variação de litologia) conforme o mapa geológico da Figura 2 (contraste de densidade entre materiais. A SGCS possui valores da anomalia Bouguer variando de 2.7096 a 7.0799 mGal (mínimo e máximo respectivamente)

Feições anômalas e geometrias apresentadas são coincidentes as feições estruturais reconhecidas. Observou-se uma significativa diferenciação relacionada a variação de densidade a SGCS associável a característica mineralógica (granito) em específico na porção SE do plúton. O contato com as rochas encaixantes (metamórficas) representa importante influência no sensor gravimétrico devido ao contraste da propriedade física densidade representada pelos menores valores em mGal (Figura 8).

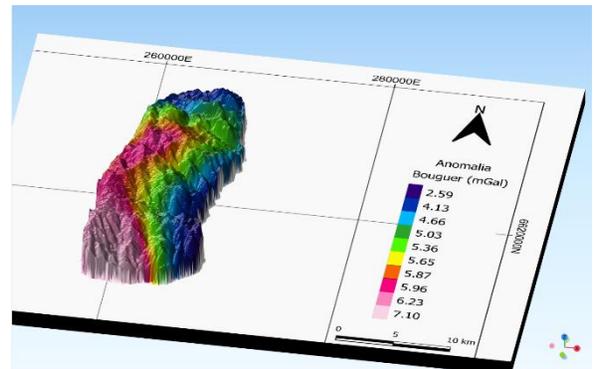


Figura 8 - Visualização em 3D das anomalias gravimétricas sobrepostas ao relevo (MDT).

O GSF apresenta variações da anomalia Bouguer de 1.4039 a 3.5777 mGal (mínimo e máximo respectivamente). No entanto, as dimensões do corpo intrusivo e a resolução amostral dos dados por satélite não possibilitam um resultado satisfatório. Impossibilita, desta forma, uma análise e interpretação adequada (Figura 9).

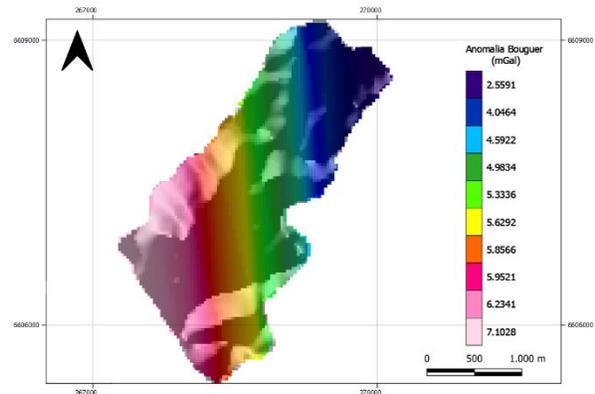


Figura 9 – Variação das anomalias gravimétricas (EGM2008) no GSF sobreposto ao relevo (MDT).

### 4.4 Profundidade das fontes anômalas detectadas - Deconvolução de Euler

A aplicação da Deconvolução de Euler a partir dos dados gravimétricos da anomalia Bouguer (Thompson, 1982; Reid et al., 1990) possibilitaram a estimativa das

profundidades prováveis para as feições e estruturas detectadas. Os valores mínimos e máximos variam de acordo com o Índice Estrutural aplicado e são discriminados conforme a Tabela 3.

Índice estrutural	Profundidade estimada (mínima e máxima em quilômetros)
0	0.97 a 1.84
1	1.93 a 12.22
2	2.7 a 15.58

Tabela 3 - Valores de profundidade estimada, separados pelo índice estrutural.

As profundidades estimadas de acordo com os Índices Estruturais definidos possuem correlação com limites litológicos e descontinuidades em diferentes níveis de profundidade. A sobreposição das ocorrências minerais conhecidas em estudos prévios a esses resultados (Figura 10) permite detectar-se importantes feições não reconhecidas em mapeamentos geológicos de superfície. Estas encontram-se em níveis rasos > 900 metros atingindo, aproximadamente, até 16 km de profundidade máxima. Há uma significativa estrutura linear de direção NE-SW limitando a SGCS e o GSF que permite aferir uma descontinuidade separando estes dois corpos intrusivos em profundidade.

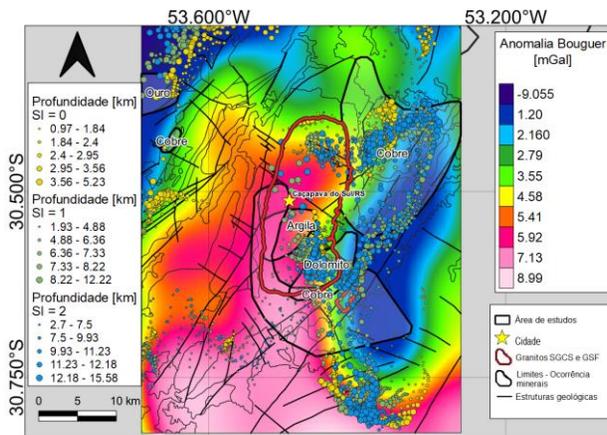


Figura 10 – Variação das anomalias gravimétricas (EGM2008) dos Granitos alvos de estudo e profundidades estimadas a partir da Deconvolução de Euler. Ocorrências minerais conforme CPRM (2009) forma sobrepostas aos resultados.

## 5. Conclusões

As integrações de dados geofísicos com dados de elevação de terreno possibilitaram definir, em um âmbito regional, os limites e geometria dos alvos de estudo. Os bancos de dados de domínio público utilizados em um SIG auxiliaram na análise e visualização das anomalias gravimétricas regionais dos corpos estudados.

A aplicação do método de Deconvolução de Euler permitiu a definição e caracterização das prováveis profundidades das feições detectadas. Estas, consistem em importantes elementos não descritos em estudos de superfície anteriores.

Este estudo e os resultados preliminares obtidos consistem em um importante subsídio no avanço quanto ao reconhecimento e caracterização dos corpos graníticos (SGCS e GSF) no ESRG juntamente com as litologias e estruturas associadas. Adicionalmente, permitem definir áreas alvo para estudos geofísicos posteriores auxiliando no planejamento e localização de perfis em aquisições de caráter local (escala 1:25.000 e 1:10.000). Complementarmente, recomenda-se a coleta de dados geológicos (*in situ*) como medidas de densidade e descrições petrográficas para refinamento dos resultados e geração de modelagens diretas e/ou inversas.

## 6. Referências bibliográficas

ALMEIDA F.F.M AND HASUI Y. 1984. O Pré-Cambriano do Brasil, São Paulo.

BARTHELMES, F. & KÖHLER, W. 2016. International Centre for Global Earth Models (ICGEM). In: Drewes, H., Kuglitsch, F. Adám, J. et al., the Geodesists Handbook 2016, Journal of Geodesy.

BASEI, M.A.S. 1985. O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. São Paulo. 190 p. (Tese de Doutorado, IG-USP).  
BITENCOURT, M.F. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1983, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1983.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2008. Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos.

BRIGGS IC. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1): 39-48.

BRITO NEVES B.B. & CORDANI, U.G., 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precamb.Res.*, 53: 23-40.

CPRM. Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. 2009.

CPRM. Sobre o GeoSGB. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2020.

Equipe de desenvolvimento do QGIS. 2020. Sistema de Informação Geográfica QGIS. Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto. <http://qgis.osgeo.org>.

FIGUEIREDO JR., A. G. 1975. Geologia os depósitos calcáreos biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS: Dissertação Mestrado.

FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. 1980. O Cráton Rio de la Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: CONGR. BRAS. GEOL, 31. Curitiba, 1980. Anais... Curitiba, SBG. v. 5, p. 2879-2892.

FRAGOSO, A.R.S. 1991. Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: As Orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. São Paulo. 367 p. (Tese de Doutorado, IG-USP).

FRAGOSO CESAR, A.R.S.; RACHADO, R. 6 GOMEZ, CR. 1987. Observações sobre o Cinturão Doa Feliciano no Escudo Uruguaio e correlações coei o Escudo do rio Grande do Sul. III simp. Sul-Bras.Geol.. Atas. 2:791-809. Curitiba.

HARTMANN, L. A.; Chemale Jr., F.; Philipp, R. P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, p. 97-123

NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, MF. 1989. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 153-169.

PAVLIS, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., and Factor, J. K. 2012. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), J. Geophys. Res., 117, B04406, doi: 10.1029/2011JB008916.

REID, A.B., ALLSOP, J.M., GRANSER, H., MILLETT, A.J. & SOMERTON, I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using euler deconvolution, geophysics, v 55, 80-91.

REMUS M.V.D. 1999. Metalogênese dos depósitos hidrotermais de metais base e Au do Ciclo Brasileiro do Bloco São Gabriel, RS. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul- URGs, 170P.

RIBEIRO, M. 1970. Geologia da Folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. Bol. Div. Geol. Min. Bras. Rio de Janeiro: DNPM, v.247, p.1-142.

TELFORD W.M.; GELDART L.P. & SHERIFF R.E. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 770p.

THOMPSON, D.T. 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, Geophysics, v 47, 31-37.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 1998. Mapeamento Geológico 1:25000: Projeto Caçapava do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.