

# Caracterização de contatos geológicos na Serra da Graciosa (Paraná) com abordagem geomorfométrica e geofísica

**Nome do autor: Miguel Paes Crispim**

*E-mail: Miguel.crispim@ufpr.br*

*Orientadora: Alessandra de Barros e Silva Bongioiolo (Departamento de Geologia – UFPR)*

*Coorientador: Ricardo Michael Pinheiro Silveira (Departamento de Geologia – UFPR)*

**Resumo:** Esta pesquisa objetiva métricas para caracterização dos contatos entre os plutons da Serra da Graciosa-Paraná e encaixantes, através de índices geomorfométricos e métodos de geofísica, como aerogamaespectrometria e aeromagnetometria, assim como trabalhos de campo. As rochas alcalino-aluminosas, características da Serra do Mar são fundamentais para entender processos magmáticos e evolução tectônica. Apesar de estudos anteriores terem descrito algumas características dos plutons, os limites e contatos ainda são inferidos, o que justifica a aplicação de métodos geofísicos para melhor redefinição dos contatos entre os maciços e suas principais características geológicas e geomorfológicas. A pesquisa se baseará na análise de dados geomorfométricos, aerogamaespectrométricos e aeromagnéticos, para delimitação dos contatos geológicos e falhas. As metodologias baseadas em modelo numérico derivado do Modelo Digital de Elevação (MDT) auxiliarão na mensuração das características geomorfológicas dos maciços, ou seja, a relação entre a forma da vertente, a posição topográfica e a rocha, investigando possíveis quebras de relevo que indiquem transições litológicas. Os resultados esperados incluem a definição do arcabouço geofísico-geológico com os contatos dos granitos, sienitos, monzodioritos e encaixantes, identificação de falhas, contribuindo para o mapeamento geológico estrutural regional e oferecendo suporte para estudos ambientais e de engenharia.

**Palavras-Chave:** Serra do Mar; Modelo Digital do Terreno, Aerogeofísica, arcabouço geofísico-geológico

## Introdução

Na Serra da Graciosa, os contatos entre plutons e suas encaixantes ainda são pouco definidos, destacando a necessidade de técnicas adicionais de mapeamento. A modelagem geomorfológica, impulsionada pela crescente disponibilidade de Modelos Digitais do Terreno (MDT) e pelo avanço dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), oferece uma base sólida para diversas aplicações na análise digital do relevo, através de análise quantitativa da superfície terrestre. No estudo de aspectos litológicos e estruturais da Serra do Mar, a geomorfometria fornece parâmetros essenciais para caracterizar e compreender a relação entre relevo e rocha. Nesse contexto, a aerogeofísica, por meio da gamaespectrometria e da magnetometria, desempenha um papel relevante. Esses métodos permitem identificar variações na concentração de elementos como urânio, tório e potássio, além de destacar assinaturas magnéticas, facilitando a delimitação de contatos e estruturas. O objetivo deste estudo é definir o arcabouço geofísico-geológico e geomorfométrico da Serra da Graciosa (PR).

Tal definição é de suma importância para o mapeamento geológico, configurando-se como documento balizador de referência, servindo de apoio para estudos ambientais, de engenharia e ordenamento do território. Diferentes rochas apresentam características geológicas e reológicas distintas, assim como pedogenéticas, agindo de diferentes formas na paisagem e carecendo de análises distintas.

## Geologia da área

Os maciços da Serra da Graciosa, importante formação geológica da Serra do Mar, são parte de um sistema de montanhas que se estende ao longo da costa sudeste do Brasil (Figura 1). Marcados por complexa história geológica e geotectônica, com destaque para eventos tectônicos do Paleoceno que contribuíram para o soerguimento da Serra do Mar (Almeida e Carneiro, 1998), expondo rochas alcalinas na porção central da Serra do Mar paranaense (Maack, 1947).

O Complexo Atuba localizado na porção norte-noroeste da área de estudo, é composto por

rochas gnáissicas migmatíticas, com fácies anfibolito. A leste, constam os contatos com o Domínio Luiz Alves, com gnaisses granulíticos, e a sul com a Suíte Rio Piên, composta por granodioritos e monzogranitos (Siga Jr. et al., 1993; 1995).

Os maciços da Serra da Graciosa (Pluton: Rio Capivari, Órgãos, Farinha Seca, Anhangava e Marumbi), apresentam características alcalinas e/ou aluminosas (subalcalinas), em conjunto à proporção de elementos terras raras relativamente maior que os demais maciços do estado (Gualda, 2001).

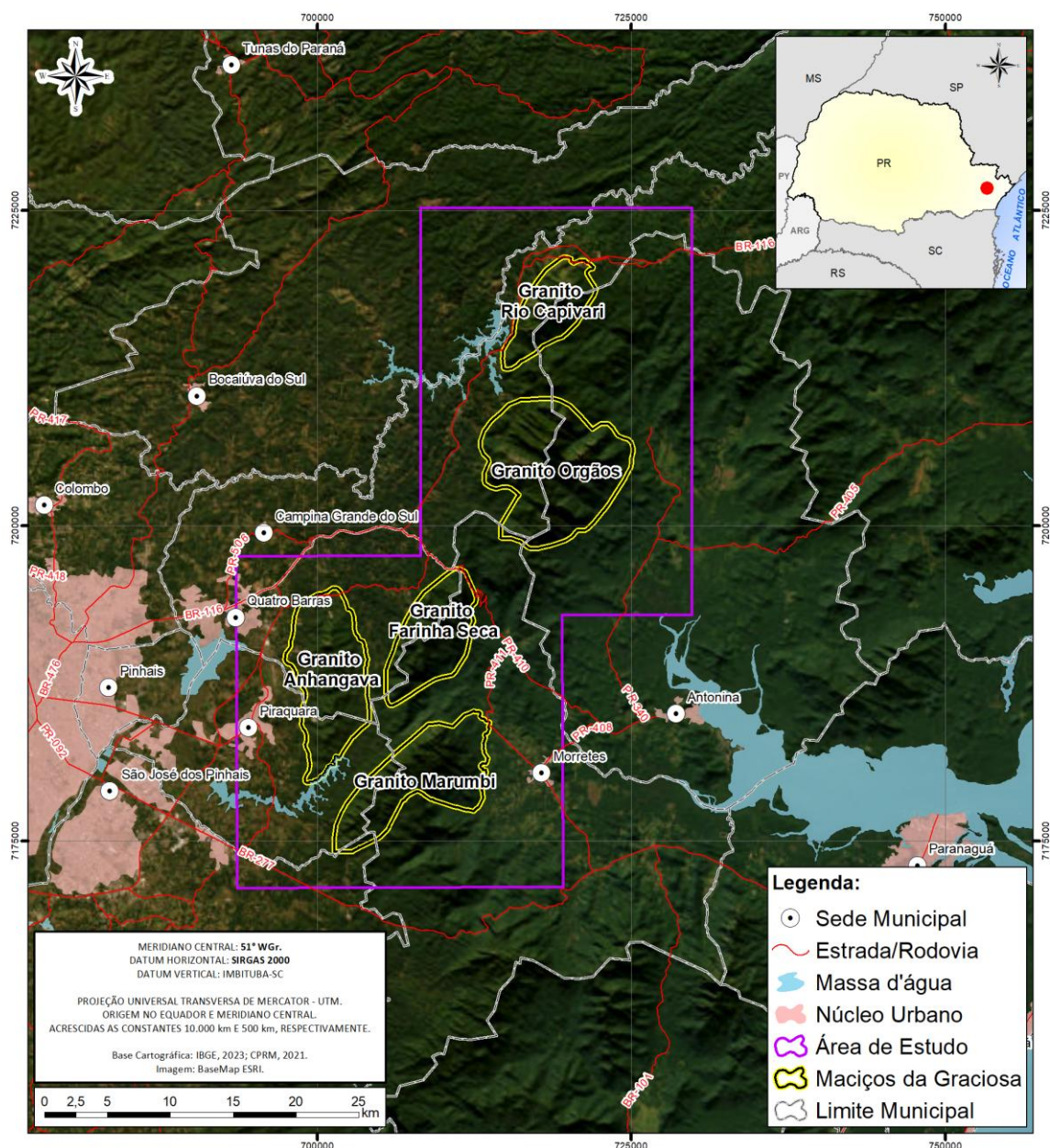


Figura 1 – Localização da área de estudo

A associação petrográfica alcalina é dominada por granitos e sienitos de feldspato alcalino, presentes nos maciços Farinha Seca, Órgãos e Anhangava. Já a associação aluminosa, que se distingue pelos granitos com biotita e anfibólio, onde se encontra monzodioritos com fenocristais e rochas miloníticas, nos maciços Capivari, Órgãos, Marumbi e Anhangava. As rochas monzodioríticas, por sua vez, se limitam à face noroeste do Maciço Órgãos, com variação entre dioritos e sieno-dioritos (Gualda, 2001; Gualda e Vlach, 2007a, 2007b).

## Fundamentação teórica

### Geomorfometria

A representação numérica do relevo, por meio de Modelos Digitais de Terreno (MDT), é uma maneira de representar a geometria da paisagem em ambiente SIG, permitindo uma análise quantitativa da superfície terrestre (Chorley et al., 1957). A geomorfometria, portanto, se define como a ciência que realiza essa análise digital e quantitativa da superfície (Pike, 2000; Wilson, 2012). A utilização do MDT facilita a identificação e a diferenciação de elementos espaciais discretos, como redes de drenagem, bacias hidrográficas, vales e colinas, que podem ser parametrizados e medidos em formato matricial (*raster*). Dessa forma, é possível extrair informações qualitativas a partir de dados quantitativos, especialmente ao analisar as relações de vizinhança entre células (*pixels*) do MDT por meio de processamento computacional. Isso permite gerar parâmetros-chave para a interpretação geomorfológica, segundo Pike (1988) a assinatura geométrica corresponde a características que descrevem as formas e características dos processos em superfície como declividade, curvatura do plano e do perfil da vertente, bem como índices correlacionados, como o índice de concentração de fluxo e o índice de posição topográfica (Pike et al., 2009).

A Geomorfometria é uma área do conhecimento que faz uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), um sistema interativo composto por profissionais capacitados, hardware, software, dados geoespaciais e métodos analíticos. Essa combinação permite a coleta, o armazenamento, processamento, visualização e análise de dados espaciais de forma integrada e eficiente (Raper e Maguire, 1992).

### Aerogeofísica

A aerogamaespectrometria é um método geofísico utilizado para medir a radiação emitida durante o processo de decaimento radioativo de elementos presentes em rochas e solos. Elementos instáveis, como urânio ( $^{238}\text{U}$ ), tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e potássio ( $^{40}\text{K}$ ), tendem a se desintegrar naturalmente em busca de estabilidade, emitindo radiação alfa, beta e gama. A radiação gama, em particular, possui alta capacidade de irradiação, podendo percorrer centenas de metros da sua fonte, podendo ser mensurada via levantamentos aéreos (Minty, 1997). Cada elemento radioativo exibe assinaturas específicas no espectro de energia gama, com picos bem definidos que correspondem a estágios distintos de suas séries de decaimento, o que possibilita a identificação precisa da fonte emissora (Wilford et al., 1997; Wilford, 2002).

Na aeromagnetometria o método concentra-se em medir a anomalia do campo magnético da Terra, e as variações de seu sinal (Telford et al., 1990). O campo magnético das rochas sofre variações conforme a susceptibilidade magnética das rochas e minerais, dependendo da quantidade, distribuição, orientação e tamanho dos minerais ferromagnéticos (Luiz e Silva, 1995). O Campo Magnético Anômalo (CMA), conforme Blakely (1995), é dado pela diferença entre o campo magnético local, o IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*).

## Materiais e Métodos

Para a pesquisa foram elencadas algumas etapas: análise geomorfométrica, análise aerogeofísica e validação em campo, conforme figura 2.

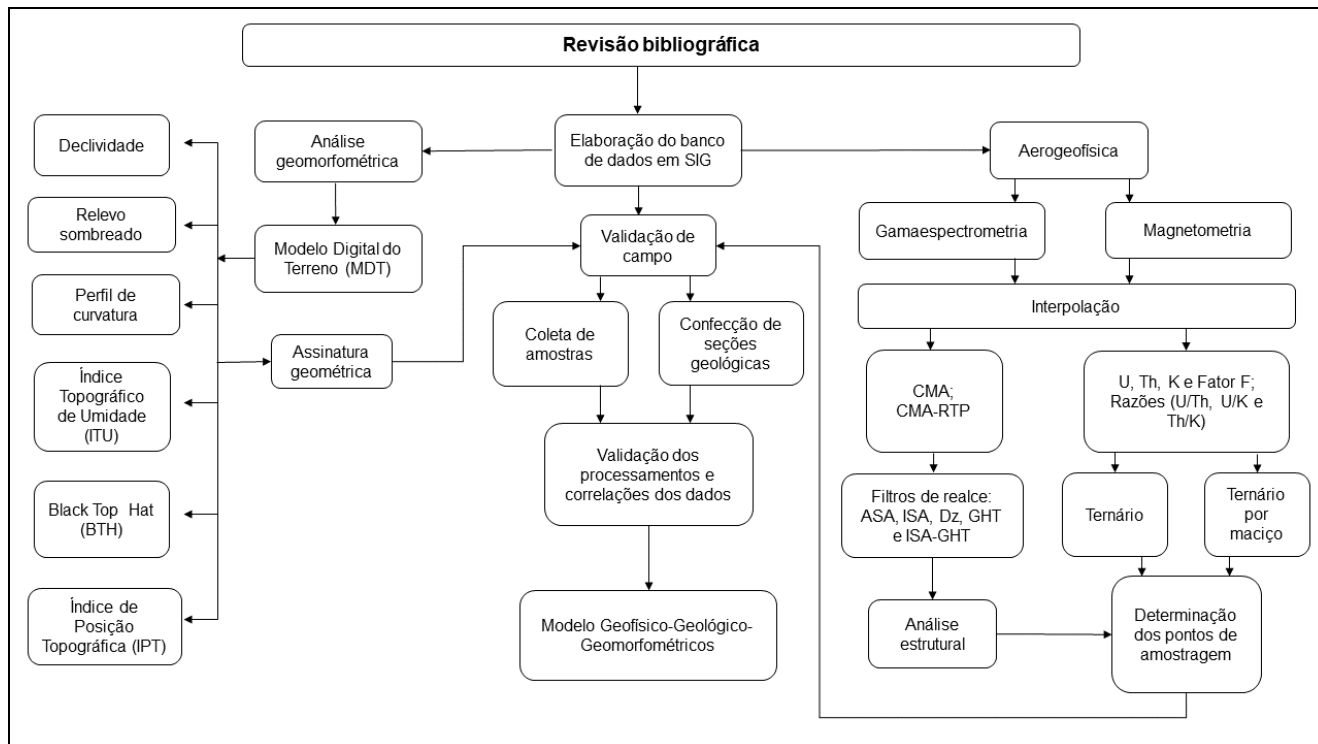


Figura 2 – Fluxograma de atividades

### Geomorfometria

Para o cálculo dos parâmetros geomorfológicos, será utilizado Modelo Digital do Terreno derivado de dados planialtimétricos das cartas topográficas (1:25.000) do Programa Pró-Atlântica (SEMA, 1997), cujas curvas de nível, pontos cotados e hidrografia serão interpoladas através do método *Topogrid*, oriundo da proposta de Hutchinson (1988). Com base no MDT serão calculados os parâmetros geomorfológicos de declividade e relevo sombreado (Horn, 1981), perfil de curvatura (Zevenbergen e Thorne, 1987), Índice de Posição Topográfica (Wilson e Gallant, 2000; Weiss, 2001), Black Top Hat (Rodriguez et al., 2002) e o Índice Topográfico de Umidade (Beven e Kirkby, 1979; Quinn et al., 1991).

### Aerogeofísica

Os dados aerogeofísicos são oriundos do projeto Paraná-Santa Catarina, os quais foram adquiridos com espaçamento de linhas de voo de 500 m e, altitude média de 100 m, tanto para os dados gamaespectrométricos quanto para os magnéticos (CPRM, 2011). O processamento dos dados aerogeofísicos segue algumas etapas, como o georreferenciamento dos dados, determinação da grade e interseção.

Os produtos do processamento dos dados gamaespectrométricos serão imagens contendo concentrações dos radio elementos separadamente de Urânio (ppm), Tório (ppm) e Potássio (%), Concentração Total (CT), composição ternária, razões (U/Th, U/K e Th/K) e fator F ( $F=K*U/Th$ ) conforme (Dickson e Scott, 1997; Ribeiro et al., 2013).

Após a correção do dado magnético do IGRF, será aplicado o filtro de correção das fontes magnéticas dipolares (RTP), onde o sinal é centralizado sobre a fonte emissora (Blakely, 1995). Deste produto segue-se para etapa dos filtros de realce: Amplitude do Sinal Analítico (Nabighian, 1972,1974; Roest et al., 1992), Primeira Derivada Vertical (Dz), Inclinação do Sinal Analítico (Miller e Singh, 1994), Gradiente Horizontal Total (Cordell e Grauch, 1985) e Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (Ferreira et al., 2010), representadas pelas seguintes fórmulas (Figura 3).

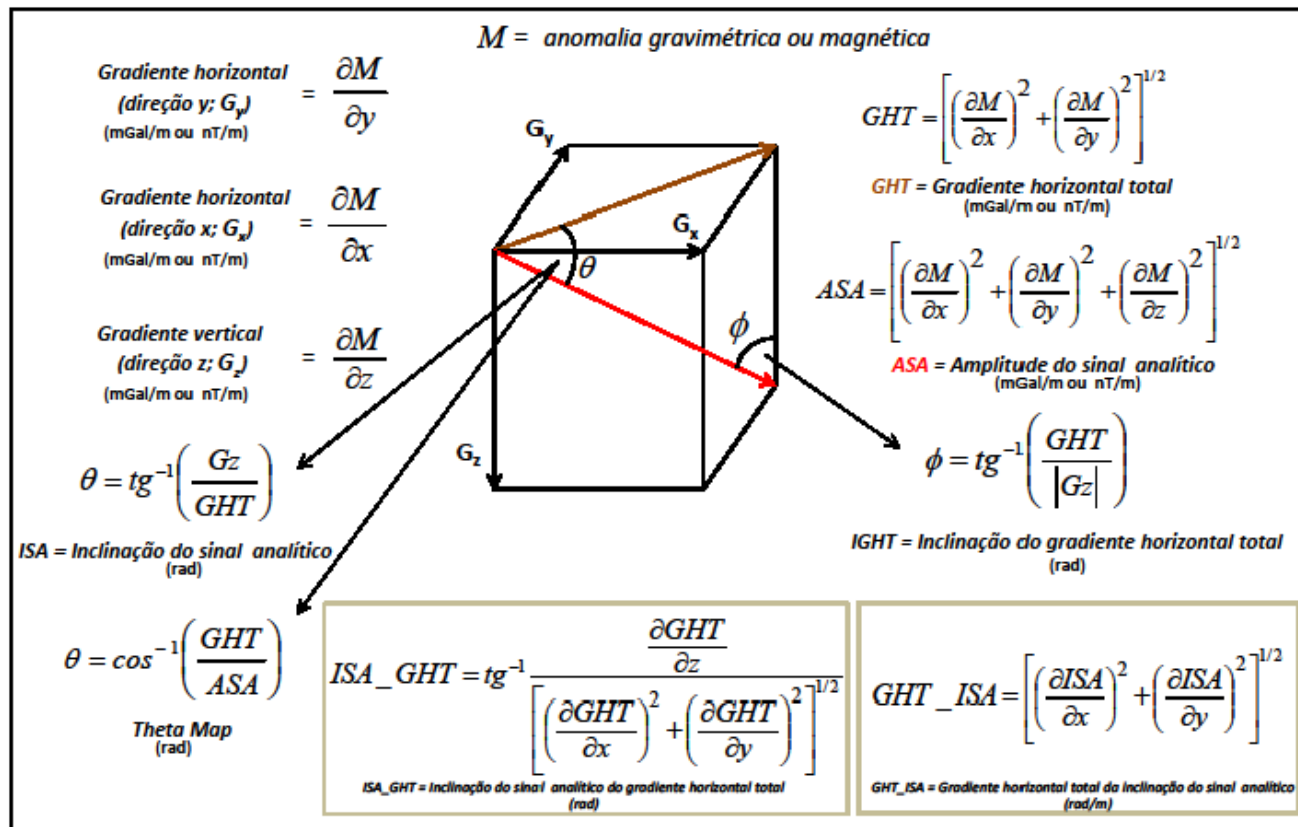


Figura 3 – Principais métodos de realce de anomalias gravimétricas e magnéticas (Fonte: Ferreira et al., 2010).

### Trabalho de campo

As atividades de campo serão balizadas nos pontos amostrais delineados a partir da geomorfometria e da geofísica, onde serão investigadas, as assinaturas geométricas derivadas da geomorfometria e dos atributos geofísicos mapeados, como os contatos geológicos e a transição de lito tipos. Nestes locais serão realizadas seções geológicas e coletadas amostras para análise macroscópicas das rochas segundo Sgarbi (2012).

### Viabilidade do projeto

Verbas serão necessárias somente para a etapa de campo, as quais serão solicitadas ao PROAP. Toda a infraestrutura necessária para o processamento dos dados, como computadores e licenças de softwares, assim como equipamento GPS e veículo 4x4, serão disponibilizados pelo Laboratório de Pesquisa em Geofísica Aplicada (LPGA/UFPR).

### Resultados esperados

Os resultados esperados incluem a definição do arcabouço geofísico-geológico com os contatos dos granitos, sienitos, monzodioritos e encaixantes, identificação de falhas, desta forma contribuindo para o mapeamento geológico estrutural regional e oferecendo suporte para estudos ambientais e de engenharia.

### Cronograma

Cronogramada das atividades é apresentado na tabela 1, com distribuição trimestral das atividades.

Atividade	2024	2024	2025	2025	2025	2025	2026	2026	2026
	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º
Revisão bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x		

Processamento de dados geomorfológicos		x	x						
Processamento de dados aerogeofísicos		x	x						
Trabalhos de Campo			x	x	x				
Interpretação dos resultados		x	x	x	x	x			
Qualificação						x			
Elaboração do artigo						x	x	x	x
Elaboração da dissertação			x	x	x	x	x	x	
Defesa da dissertação									x

Tabela 1: Cronograma das atividades do projeto de pesquisa

## Referências

- Almeida, F. F. M.; Carneiro, C. D. R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, 135-150 p. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1998/n.2/3.pdf>. Acesso em: 09 out. 2024.
- Beven, K. J.; Kirkby, M. J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24(1), 43–69 p. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Blakely, R. J. 1995. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press.
- CPRM. 2011. *Projeto Aerogeofísico Paraná – Santa Catarina*. Serviço Geológico do Brasil, São Paulo. ISBN 978-65-5664-466-0. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24841>. Acessado em: 01 nov. 2024.
- Chorley, R. J.; Malm, D. E. G.; Pogorzelski, H. A. 1957. A new standard for estimating drainage basin shape. *American Journal of Science*, v. 255, 138-141 p. DOI: <https://doi.org/10.2475/ajs.255.2.138>
- Dickson, B. L.; Scott, K. M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys — adding the geochemical factors. *AGSO J. Aust. Geol. Geophys.* 17 (2), 187–200 p.
- Ferreira, F. J. F.; Souza, J.; Bongioiolo, A. B. S.; Castro, L. G.; Romeiro, M. A. T. 2010. Realce do gradiente horizontal total de anomalias amgnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte 1 - Aplicação a dados sintéticos. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília. DOI: <https://10.0.88.36/4simbqf2010.062>
- Gualda, G. A. R. 2001. *Evolução Petrográfica e Mineralógica das Associações Alcalina e Aluminosa dos Granitos Tipo-A da Graciosa-PR*. Dissertação de Mestrado (Instituto de Geociências), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Gualda, G. A. R.; Vlach, S. R. F. 2007a. The Serra da Graciosa A-type granites and syenites, southern Brazil. Part 1: Regional setting and geological characterization. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 79(3), 405-430 p. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000300006>
- Gualda, G. A. R.; Vlach, S. R. F. 2007b. The Serra da Graciosa A-type Granites and Syenites, southern Brazil: Part 2: Petrographic and mineralogical evolution of the alkaline and aluminous associations. *Lithos*, v. 93, 310-327p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.06.002>
- Hutchinson, M. F. 1988. A New procedure for gridding elevations and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, v. 106, 211-232 p. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5)
- Horn, B. K. P. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, v. 1 (69), 14-47 p.
- Luiz, J. G.; Silva, L. M. C. 1995. *Geofísica de prospecção*. Editora Cejup, Universidade Federal do Pará, Belém, v.1. ISBN: 85-247-0118-8
- Maack, R. 1947. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 2, 63-154 p.
- Minty, B. R. S. 1997. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v.17 (2), 39-50 p.
- Pike, R. J. 1988. The Geometric Signature: Quantifying Landslide-Terrain Types from Digital Elevation Models. *Mathematical Geology*, v. 20(5). DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00890333>
- Pike, R. J. 2000. Geomorphometry — diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, v. 24 (1), 1–20 p. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/901>. Acessado em: 08 nov. 2024.
- Pike, R. J.; Evans, I., Hengl, T. 2009. Geomorphometry: A Brief Guide. In: Hengl, T.; Reuter, H. I. (eds.) *Geomorphometry - Concepts, Software, Applications, Series Developments in Soil Science*, v. 33, Amsterdam: Elsevier, 3-30 p.
- Quinn, P.; Beven, K.; Chevallier, P.; Planchon, O. 1991. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, v. 5, 59–79 p.
- Raper, J. F.; Maguire, D. J. 1992. Design models and functionality in GIS. *Computers e Geosciences*, v. 18(4), 387-394 p. DOI: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(92\)90067-2](https://doi.org/10.1016/0098-3004(92)90067-2)
- Ribeiro, V. B.; Montovani, M. S. M.; Louro, V. H. A. 2013. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terrae Didatica*, v. 10, 29-51 p. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v10i1.8637386>
- Rodríguez, F.; Maire, E.; Courjault-rade', P.; Darrozes, J. 2002. The Black Top Hat function applied to a DEM: a tool to estimate recent incision in a mountainous watershed. (Estibère Watershed, Central Pyrenees). *Geophysical Research Letters*, v. 29(6), 1-4 p. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001GL014412>
- SEMA. 1997. *Programa de Proteção da Floresta Atlântica (Pró-Atlântica)*. Instituto Água e Terra. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-geoespaciais-de-referencia>. Acessado em: 14 nov. 2024.
- Sgarbi, G. N. C. (Org.). 2012. *Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas*. 2. ed.

rev. e ampl. Editora UFMG, Belo Horizonte.

- Siga Jr., O.; Basei, M. A. S.; Machiavelli, A. 1993. Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas. Revista Brasileira de Geociências, v. 23(3), 215-223 p. DOI: [10.25249/0375-7536.1993233215223](https://doi.org/10.25249/0375-7536.1993233215223)
- Siga Jr., O.; Basei, M. A. S.; Reis Neto, J. M.; Machiavelli, A.; Harara, O. M. 1995. O Complexo Atuba: um cinturão paleoproterozóico intensamente retrabalhado no Neoproterozóico. Boletim IG-USP Série Científica, São Paulo, v. 26, 69-98p. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v26i0p69-98>
- Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E.; Keys, D. A. 1990. Aeromagnetism. In: Applied Geophysics. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 62-115 p.
- Weiss, A. D. 1998. Topographic Position and Landforms Analysis. The Nature Conservancy, Northwest Division, 217 Pine St. Suite 1100.
- Weiss, A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.
- Wilson, J. P.; Gallant, J. C. (eds.). 2000. Terrain analysis: principles and applications. New York, John Wiley & Sons, 1-27 p.
- Wilson, J. P. 2012. Digital terrain modelling. Geomorphology, v. 137, 107-121 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.012>
- Wilford, J. R.; Bierwirth, P. N.; Craig, M. A. 1997. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v. 17(2), 201-216 p.
- Wilford, J. 2002. Airborne gamma-ray spectrometry. In: Geophysical and remote sensing methods for regolith exploration, v. 144, 46-52 p.
- Zevenbergen, L. W.; Thorne, C. R. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surface Processes and Landforms, v.12, 47-56 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

### Dados Acadêmicos

Modalidade: Mestrado.

Data do Exame de Qualificação: novembro/2025;

Data de Ingresso na Pós-Graduação: setembro/2024;

Área de Concentração: Geologia Exploratória;

Linha de Pesquisa: Evolução crustal.

Bolsa: não.