



IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados

Foz do Iguaçu, PR – 08 a 11/04/2008.

MODELO GRAVIMÉTRICO 3-D DO *PLUTON* GRANÍTICO PRINCIPAL, COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL - RS

Jefferson Ulisses da Cunha¹, Francisco José Francisco Ferreira¹, Maria do Carmo Pinto Gastal²,
Francisco Humberto Simões Magro²

¹ Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada-LPGA, UFPR, Departamento de Geologia, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Caixa Postal 19045, CEP 81531-980, Curitiba, PR. E-mail: tenentejeff@yahoo.com; francisco.ferreira@ufpr.br

² Instituto de Geociências, UFRGS, Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia, CEP 91650-002, Porto Alegre, RS. E-mail: maria.gastal@ufrgs.br; francisco.magro@ufrgs.br

Resumo O Complexo Intrusivo Lavras do Sul – CILS e vulcânicas cronocorrelatas, localizados no sul do Brasil, foram formados no final do Neoproterozóico no Escudo Sul-riograndense. A interpretação preliminar dos dados gravimétricos indicou áreas com considerável deficiência de massa, possivelmente relacionadas às raízes do corpo granítico principal deste complexo intrusivo. O processo de inversão foi realizado usando o algoritmo INVERT, cujos parâmetros de entrada são anomalias gravimétricas e um determinado contraste de densidade. Finalmente, os resultados são representados por dois modelos de profundidade, baseados em anomalias residuais: um envolvendo todo o corpo e o outro apenas os baixos gravimétricos. Assim, tais modelos permitiram estimar as profundidades do corpo e a distribuição de massa em subsuperfície. INVERT é um algoritmo para inversão de anomalias gravimétricas originadas de fontes tridimensionais, com um contraste de densidade específico, e visualização 3-D do corpo causador destas anomalias. O algoritmo foi implementado em linguagem C++ e a rotina de execução no software Matrix Laboratory (MatLab®)

Palavras-Chave: Complexo Intrusivo Lavras do Sul, granito, gravimetria; inversão 3-D, algoritmo INVERT

Abstract. The Lavras do Sul Intrusive Complex – LSIC and coeval volcanic, southernmost Brazil, were formed during the Late Neoproterozoic in the Sul-Riograndense Shield. Previous interpretation of residual gravity anomalies maps show areas that present a considerable mass deficiency, related to roots of the main granite pluton in the intrusive complex. The inversion process was carried out using the INVERT algorithm in which the input data are the residuals gravity anomalies and a density contrast. Finally, the results are represented by two depth models: the first is derived to the granite pluton and the other only for the gravimetric lows. Thus, these models allow visualizing the depths of the body and the mass distribution in the subsurface. The INVERT is an algorithm for inversion of gravity anomalies originate from three-dimensional sources with specific density contrast, and 3-D visualizations of the body responsible for those anomalies. The algorithm was implemented in C++ language and the routine execution is in the Matrix Laboratory (MatLab®) software.

Keywords: Lavras do Sul Intrusive Complex, granite, gravity, 3-D inversion, INVERT algorithm

1. Introdução

O Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS - Gastal, 1998) situa-se a cerca de 300 km a oeste de Porto Alegre, nos arredores de Lavras do Sul (RS). É intrusivo em rochas do arco São Gabriel (900-700 Ma) e unidades basais da Bacia de Camaquã (formações Maricá e Hilário), e é seccionado pelo Granito Jaguari a oeste (Fig. 1-A). Faz parte dos eventos magmáticos pós-colisionais à orogênese Dom Feliciano (660-620 Ma) no oeste do Escudo Sul-riograndense. Inclui diversos granitóides (606-586 Ma), cuja distribuição espacial e evolução sugerem que representem intrusões agregadas de um sistema vulcano-plutônico de subsidência relacionado aos traquiandesitos da Formação Hilário (Gastal *et al.*, 2006). O complexo intrusivo é subdividido em dois setores: o Monzonito Tapera no norte, e o *pluton* granítico principal (antigo Complexo Granítico de Lavras) no sul. O último é circundado a norte-nordeste pelo Monzodiorito Arroio do Jacques. Tal distribuição é também evidenciada pela topografia atual, em que o contorno do *pluton* granítico é realçado por altos topográficos (Fig. 1-B). Este tem forma grosseiramente circular, em planta, com dimensões de 12,0 x 13,5 km ($\approx 128 \text{ km}^2$). É uma intrusão centrada com zonalidade reversa de granitos não-foliados, que incluem: biotita granodiorito e anfibólio-biotita monzogranito híbrido no núcleo, e granitos alcalinos (biotita-anfibólio sienogranito e pertita granito) em corpos semicirculares periféricos. Os contatos entre os granitos são gradativos ou bruscos, mas sem afinamento da granulação sugerindo pequeno contraste termal. As idades Pb-Pb e U-Pb evidenciam a natureza multi-intrusiva dos mesmos, porém o principal período de formação de magma no CILS ocorreu em torno de 600 Ma. A interpretação preliminar dos dados gravimétricos residuais revelou quatro baixos no centro-norte, situados sob os termos do núcleo deste *pluton* granítico, os quais foram interpretados como as principais raízes alimentadoras dos magmas (Gastal *et al.*, 2006). Contudo, as raízes comumente são associadas ao posicionamento e evolução dos termos mais evoluídos dos corpos graníticos (Vigneresse, 1995; Vigneresse & Bouchez, 1997), o que parece não ser o caso do CILS. Isto motivou o modelamento tridimensional deste *pluton*, visando o melhor entendimento de sua formação. São apresentados neste trabalho, o Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, resolução de 90 m) e os testes efetuados com o algoritmo INVERT (Cunha, 2007) com a finalidade de gerar um modelo tridimensional para o *pluton* granítico principal do CILS a partir das anomalias gravimétricas residuais.

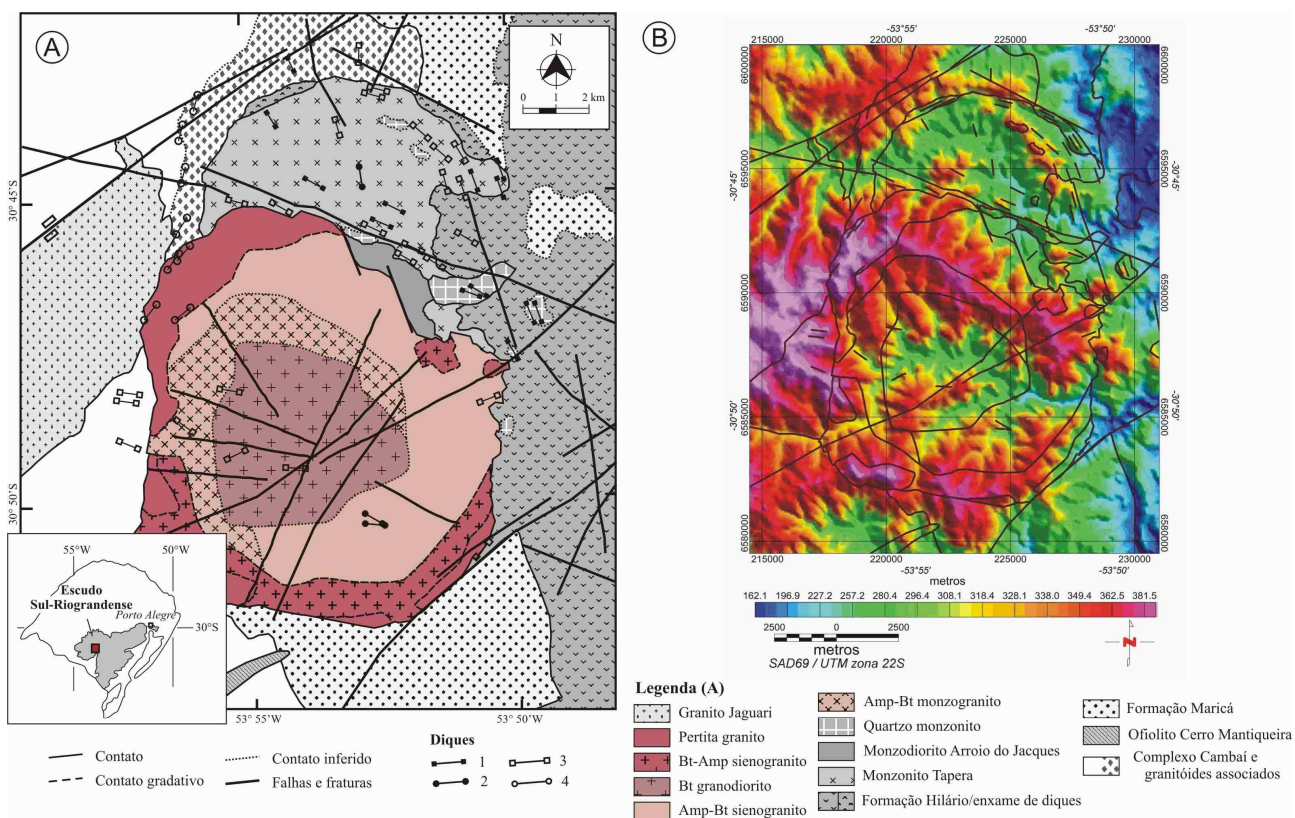


Figura 1. A - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS); e B - Modelo Digital de Elevação (MDE), derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, resolução de 90 m).

2. Métodos

O levantamento gravimétrico terrestre, apresentado preliminarmente em Gastal *et al.* (2006), envolveu 88 estações e foi executado em uma área de 375 km^2 , seguindo uma malha irregular de aproximadamente $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$, que ultrapassou os limites do CILS em até 3-4 km. Os dados foram coletados por um gravímetro digital Scintrex CG-3 Autograv, resolução de $5 \mu\text{Gal}$, e as estações foram referenciadas à Rede Nacional de Estações Gravimétricas (RENEGA) e a rede de nivelamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, tendo como nível de

referência a RN1798-U. Os dados foram automaticamente corrigidos do efeito de maré e posteriormente da deriva instrumental. As coordenadas foram referidas ao *Datum South American 1969* (SAD69).

Com base nos dados já corrigidos do efeito de maré e deriva instrumental, foram geradas as anomalias Bouguer a partir da seguinte fórmula:

$$\Delta g_B = g_o + C_{Lat} + C_F - C_B + C_T - g_n ,$$

onde g_o é o valor observado, C_{Lat} é a correção de latitude, C_F é a correção Ar-Livre, C_B é a correção Bouguer, C_T é a correção de terreno e g_n é a gravidade normal.

Em continuidade foi gerada uma malha regular de 500 x 500 m, através de interpolação numérica pelo método da curvatura mínima (Briggs, 1974). Este método interpola os dados através do ajuste de uma superfície bi-dimensional aos dados brutos (x, y, z), de tal forma que a curvatura da superfície seja minimizada. Uma superfície de curvatura mínima é a superfície mais suave possível que se ajusta aos dados.

No mapa de anomalias Bouguer (Fig. 2-A), observa-se uma tendência de incremento dos valores de oeste para leste, os quais refletem a superposição de sinais derivados de fontes situadas a várias profundidades, do que decorre a necessidade de proceder à separação regional-residual.

Numericamente, a separação regional-residual foi realizada pelo método polinomial. Esta operação envolveu a subtração de uma superfície de tendência de primeiro grau aos dados Bouguer, resultando no mapa de anomalias residuais (Fig. 2-B), o qual também foi contornado a partir de uma malha de 500 x 500 metros. A partir deste mapa, foram selecionadas duas áreas para inversão: uma envolvendo o corpo granítico principal (retângulo azul) e outra circunscrita aos baixos gravimétricos (retângulo vermelho). Qualitativamente, em profundidade, as quatro raízes coalescem em um único baixo central, como observado nos mapas gravimétricos residuais continuados para cima, sugerindo uma forma afunilada para o *pluton* granítico do CILS (Gastal *et al.*, 2006).

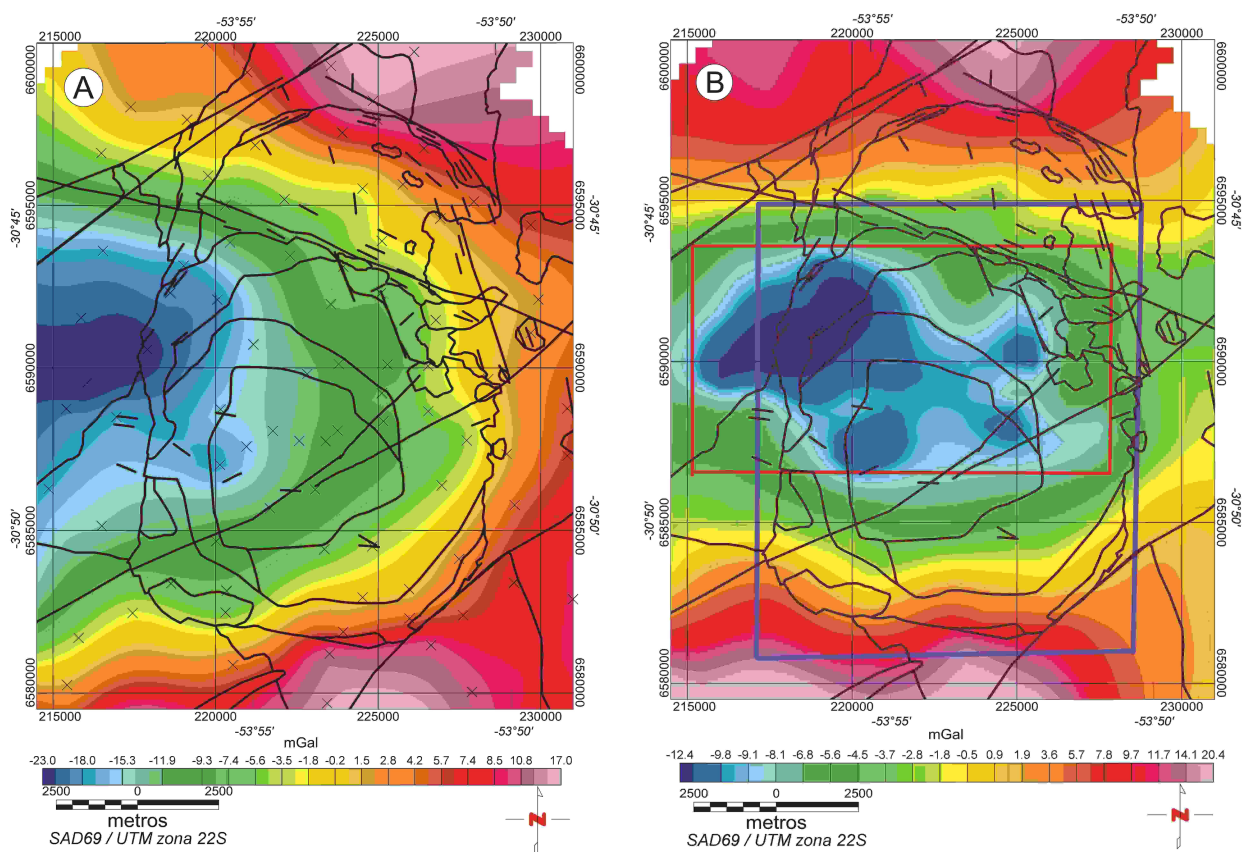


Figura 2. A - Mapa de anomalias gravimétricas Bouguer com a localização das estações de medida; e B - Mapa de anomalias gravimétricas residuais indicando as duas áreas submetidas à inversão.

3. Inversão 3-D

O problema inverso em geofísica, aplicado à gravimetria, consiste em, a partir das anomalias Bouguer e de uma estimativa do contraste de densidade (parâmetros de entrada), gerar um modelo da fonte causadora cujos parâmetros de saída são um determinado contraste de densidade, forma, dimensões e profundidades aproximadas a partir de uma superfície de referência.

O software utilizado, denominado INVERT (Cunha, 2007), foi desenvolvido em linguagem C++ e MatLab® com base em Cordell & Henderson (1968). Assim, a partir da malha regular (500 x 500 m) dos resíduos de primeiro

grau (circunscritos aos retângulos da figura 2-B), foram gerados dois mapas de contorno das profundidades, os quais são apresentados na figura 3.

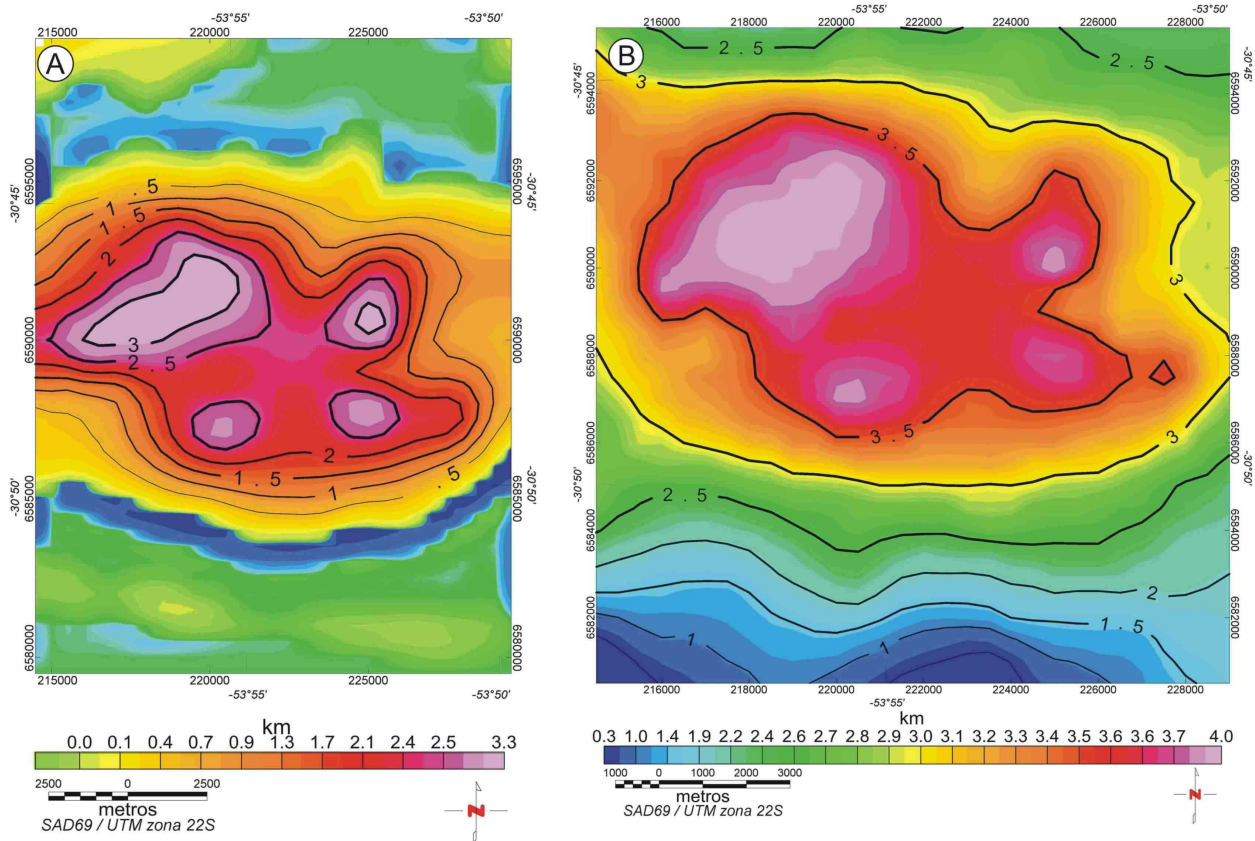


Figura 3. Mapas de contorno das profundidades (em km) para as duas áreas indicadas na figura 2-B: A – raízes do pluton, retângulo vermelho ($\Delta\rho = -0,09 \text{ g/cm}^3$); e B – pluton granítico, retângulo azul ($\Delta\rho = -0,106 \text{ g/cm}^3$).

Os mapas mostrados na figura 3 são, em linhas gerais, semelhantes no que concerne às profundidades calculadas. Apesar disto, é possível observar no mapa de anomalias gravimétricas residuais (Fig. 2-B), que a área do pluton (limitada pelo retângulo azul) envolve resíduos positivos (predominantes a sul) e negativos (preferencialmente a norte). Isto resultou em modelos 3-D geofisicamente não realísticos em função de limitações do software utilizado, o qual só é eficiente quando os dados de entrada são somente negativos, ou, alternativamente, positivos, de acordo com Cordell & Henderson (1968). Uma outra limitação, de ordem geológica, na obtenção da forma tridimensional do pluton se refere ao pequeno contraste a oeste, uma vez que os granitos do CILS fazem contato com encaixantes graníticas, e são seccionados por granitos (Fig. 1-A). Com o intuito de contornar tais limitações, são apresentados na figura 4 os modelos gerados a partir dos resíduos negativos, referentes somente à região das raízes do pluton granítico (Fig. 2-B, retângulo vermelho). Tais modelos, apesar de consistentes do ponto de vista geofísico, não correspondem aos limites do pluton granítico principal, e, por conseguinte, tem pouco significado geológico, uma vez que fornecem apenas informações detalhadas desta região. Apesar disto, as profundidades aqui obtidas são similares àquelas resultantes dos modelos de inversão 2-D gerados no pacote EMIGMA® (v. 7.7, 2004) (Gastal *et al.*, 2008), o que confere maior robustez aos resultados. Como detalhado na figura 4, os baixos gravimétricos atingem profundidades máximas de 3,35 km.

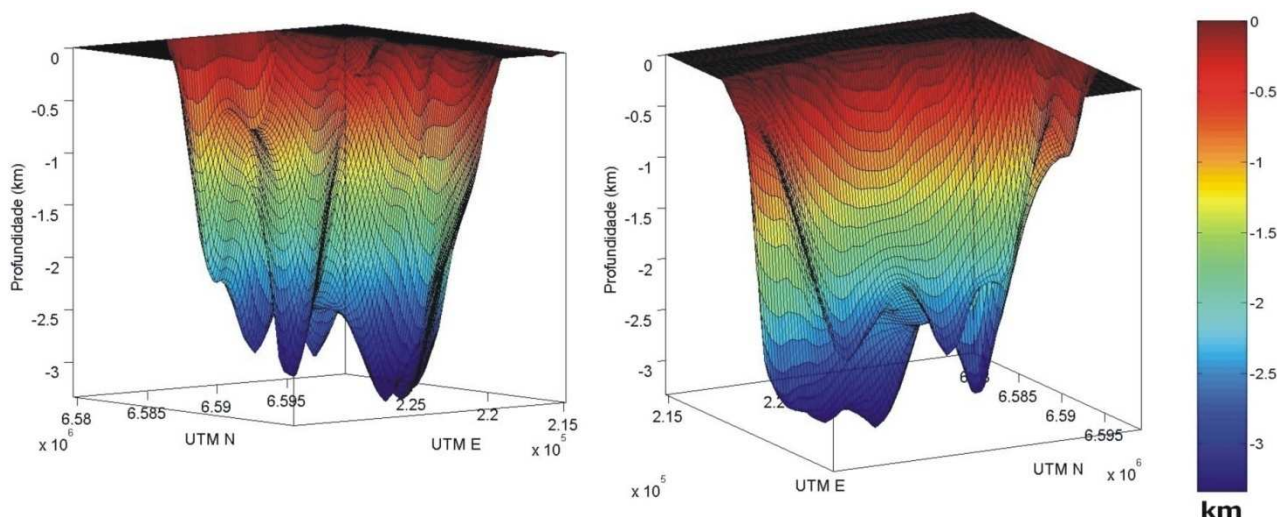


Figura 4. Visualização dos modelos tridimensionais gerados pela inversão de resíduos gravimétricos para a região das raízes do pluton granítico do CILS (retângulo vermelho na figura 2-B).

4. Conclusões

Os experimentos de inversão de baixos gravimétricos residuais e a conseqüente geração de modelos tridimensionais do pluton granítico principal do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, apresentados neste trabalho, foram geofisicamente consistentes apenas quando os dados de entrada são negativos (ou alternativamente positivos), constituindo uma limitação do *software* empregado, de acordo com Cordell & Henderson (1968). Pelo contrário, quando os dados de entrada envolvem conjuntamente dados negativos e positivos os resultados são inconsistentes, como discutido no caso da inversão dos dados relativos ao contorno do referido pluton. Apesar disto, o mapa de profundidades gerado (Fig. 3) evidencia que o pluton tem uma profundidade média de 2,5 km, com paredes íngremes que convergem em direção às quatro raízes. Estas são relativamente delgadas (0,3-0,8 km), estando a mais profunda (Fig. 3) situada sob a ocorrência de pertita granito no noroeste do pluton (Fig. 1-A). Esta tem forma alongada orientada segundo NE-SW. As outras três raízes, situadas no centro do corpo, estão sob os granitos do núcleo do pluton que são menos evoluídos. Estas têm formas mais circulares e estão conectadas segundo estruturas de direção W-E e NE-SW (Fig. 3). Estes baixos gravimétricos coincidem com importante baixo magnético relativo (Gastal *et al.*, 2006), referendando que realmente representem as raízes de alimentação de magma durante a construção do corpo granítico. A orientação das raízes, ou da conexão das raízes, estaria indicando as estruturas que condicionaram o ascenso dos magmas. Na região de abrangência destas raízes, os dados de foliação magnética revelam um corpo do tipo domo (ou lacólito), com paredes íngremes (Raposo & Gastal, 2008). Assim sendo, os resultados da inversão gravimétrica são coerentes com os dados geológicos e as dificuldades se traduzem apenas na representação gráfica dos modelos 3-D, quando estes envolvem o processamento simultâneo de dados negativos e positivos.

6. Referências

- BRIGGS, I. C. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, vol. 39, no. 1, pp. 39-48, 1974.
- CORDELL, L.; HENDERSON, R. G. Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. In: *Geophysics*, vol. 33, no. 4, pp. 596-601, 1968.
- CUNHA, J.U. Algoritmo INVERT: inversão 3-D de anomalias gravimétricas (inédito).
- EMIGMA v. 7.7[®]. 3-D Eletromagnetic, Magnetics, Gravity, Resistivity/IP and MT/CSAMT. Interpretation Platform for Comprehensive Geophysical Imaging, Modelling & Inversion. PetRos EiKon Inc. Ontario, Canada, 2004.
- GASTAL, M. C. P. *Suíte Intrusiva Saibro, RS. Avaliação de um Modelo Petrológico*. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 365p.
- GASTAL, M. C. P.; LAFON, J. M.; FERREIRA, F. J. F.; MAGRO, J. F. U.; REMUS, M. V. D.; SOMMER, C. A. Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência. Parte I: geologia, geofísica e geocronologia ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$). *Revista Brasileira de Geociências*, 36(1): 109-124, 2006.
- GASTAL, M.C. P.; LAFON, J. M.; FERREIRA, F.J.F. Multiple magma batches in the construction of a post-collisional, alkali-calcic and alkaline granite pluton, Lavras do Sul intrusive complex, southern Brazil: an integrated petrological and geochemical study. *Journal of Petrology*, submetido, 2008.
- RAPOSO, M.I.B. & GASTAL, M.C.P. Emplacement setting of the granite pluton of the Lavras do Sul intrusive complex (Rio Grande do Sul State), south Brazil: Determined by magnetic anisotropies. *Tectonophysics*, submetido, 2008.

- VIGNERESSE, J. L. Control of granite emplacement by regional deformation. *Tectonophysics*, v. 249, p. 173-186, 1995.
- VIGNERESSE, J. L. & BOUCHEZ, J. L. Successive granitic magma batches during pluton emplacement: the case of Cabeza de Araya (Spain). *Journal of Petrology*, v. 38, p. 767-1776, 1997.