

### **13.1 Resumo**

Através dos dados do levantamento aeromagnético do Projeto Brasil-Alemanha (CPRM, 1972) observou-se à existência de uma anomalia com característica dipolar. No local e nas vizinhanças são identificáveis clastos carbonatíticos, no entanto, nenhum afloramento alcalino foi observado.

Ellert & Hasui (1969) ao empregarem magnetometria terrestre na mesma região da anomalia aeromagnética, obtiveram uma anomalia cujo máximo valor anômalo foi de -1300 gamas. No entanto, este estudo não teve uma conclusão favorável, haja vista que o seu comportamento dipolar não foi discriminado através dos dados terrestre. Os dados coletados pelos autores Ellert e Hasui não cobriram completamente a anomalia.

Impulsionados pelo objetivo de localizar o corpo, aplicamos os métodos gravimétricos para tentar estudar a provável alcalina de São Gotardo, já que a anomalia gravimétrica é centrada no limite físico do corpo, diferentemente da anomalia magnetométrica, na qual o corpo pode estar localizado em qualquer porção da anomalia magnética (com característica dipolar). Porém, como no caso de Tunas-PR também não houve presença de valores anômalos gravimétricos.

A partir dos dados aeromagnéticos foi modelado o corpo através do Programa IGMAS (Götze & Lahmeyer, 1988). Os dados aeromagnéticos foram reduzidos ao pólo e posteriormente modelados.

### **13.2 Introdução**

A alcalina de São Gotardo é identificada somente pela presença de seixos carbonatíticos, com diâmetros de 1 a 12 cm, contidos nos sedimentos da Formação Uberaba (Hasui, 1967). A ocorrência dos seixos está na estrada Matutina-Santa Rosa da Serra, a 3,5km ao sul da rodovia Araxá-Belo Horizonte (via São Gotardo). Os seixos apresentam formatos arredondados, indicando transporte não muito distante do local de origem. (Hasui & Hassano, 1969)

Segundo Hasui & Hassano (1969), os seixos não podem ter sido transportados dos complexos alcalinos de Serra Negra e Salitre I e II, devido a sua distancia, entretanto os complexos de Tapira e Araxá são possíveis fontes dos clastos, já que distam cerca de 90 km do local; de outro lado é improvável que sedimentos de 12 cm tenham sido transportados por essa distancia e preservado esse tamanho, e seu formato com arestas um pouco angulosas. O mais condizente é que esses sedimentos provenham de uma rocha fonte próxima do ambiente de sedimentação.

Ellert & Hasui (1969) empregaram a magnetometria terrestre, objetivando localizar o corpo, já que o afloramento não é visível. Isso decorre do fato dos corpos alcalinos serem facilmente intemperizados, bem como, da possibilidade do corpo estar soterrado pelos sedimentos da formação Uberaba. Os dados indicaram a existência de um baixo anômalo da ordem de -1300 gamas. Na aquisição dos dados foi utilizado um magnetômetro do tipo Askania calibrado para escala de 25 gamas. Esse estudo não foi conclusivo já que os autores não

cobriram completamente a anomalia, se restringindo apenas ao pólo magnético negativo gerado pelo corpo anômalo e não cobrindo com os dados toda a porção do dipolo.

### **13.3 Geologia**

A rocha encaixante onde esta inserida a anomalia magnética de São Gotardo é formada pelo Grupo Bambuí (Eocambriano), sendo representada localmente por ardósias negras e verdes, intensamente deformadas e com intercalações restritas de calcário metamórfico e meta-arcóseo. Os calcários são cinzentos e negros, de granulação fina e constituída principalmente por calcita.

A Formação Aerado (Eo- Cretáceo) está sobre o Grupo Bambuí, sendo representada por quartzo-arenitos e arenitos feldspáticos, com ou sem cimentação carbonática ou de sílica. Sua espessura varia de poucos metros (30m). (Hasui & Hassano, 1969)

A terceira unidade litoestratigrafica é composta pela Formação Uberaba (Neo-Cretáceo) que é composta essencialmente por arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados vulcânicos onde, subordinadamente, ocorrem siltitos e argilitos vulcânicos. Sua espessura é variável podendo chegar a 120 m no município de São Gotardo. A Formação Uberaba possui origem fluvial detrítica formando pacotes sedimentares heterogêneos de matriz imatura. Nele são encontrados clastos de origem básica ultrabásica, como magnetita titanífera e clinopiroxênio, sendo também observados minerais pesados com zircão e

sillimanita, bem como fragmentos de rochas metamorfasadas. (Hasui & Hassano, 1969)

Os seixos identificados como sendo alcalinos ou de rochas subordinadas são compostas de pulaskito, urtito, melteijito, fonolito, tingauito entre outros. Apresentam diâmetro variável de 1 a 12 cm, possuindo formato arredondado em parte mas com arestas ainda um pouco angulosas, principalmente as referentes aos seixos de origem ígnea.(Hasui & Hassano, 1969)

Datações potássio-argônio indicam uma idade de 80 Ma para os seixos alcalinos sendo, portanto de idade equivalente aos demais complexos alcalinos da região, sendo citados Serra Negra, Salitre I e II, Tapira e Araxá.

#### **13.4 Geofísica**

O levantamento aerogeofísico do projeto Brasil-Alemanha (CPRM, 1972), caracteriza o campo anômalo de São Gotardo, descrevendo o seu comportamento dipolar (Figura 13.1). Esse projeto teve sua conclusão no ano de 1972, sob os parâmetros de contrato firmado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 1972). As linhas de vôo, com direção W-E possuem um espaçamento médio de 2 km, registram medidas do campo magnético total. Todas as medidas foram corrigidas para uma altura média de vôo de 200 m

Na Figura 13.1 observa-se que o campo é representado por um dipolo de polaridade invertida (pólo negativo ao norte). A amplitude anômala de 189 nT a -647 nT é característica de corpos alcalinos. O campo magnético pode ser

representativo de dois corpos alcalinos, um a leste (São Gotardo, dipolo mais intenso) e outro a sudoeste (corpo B).

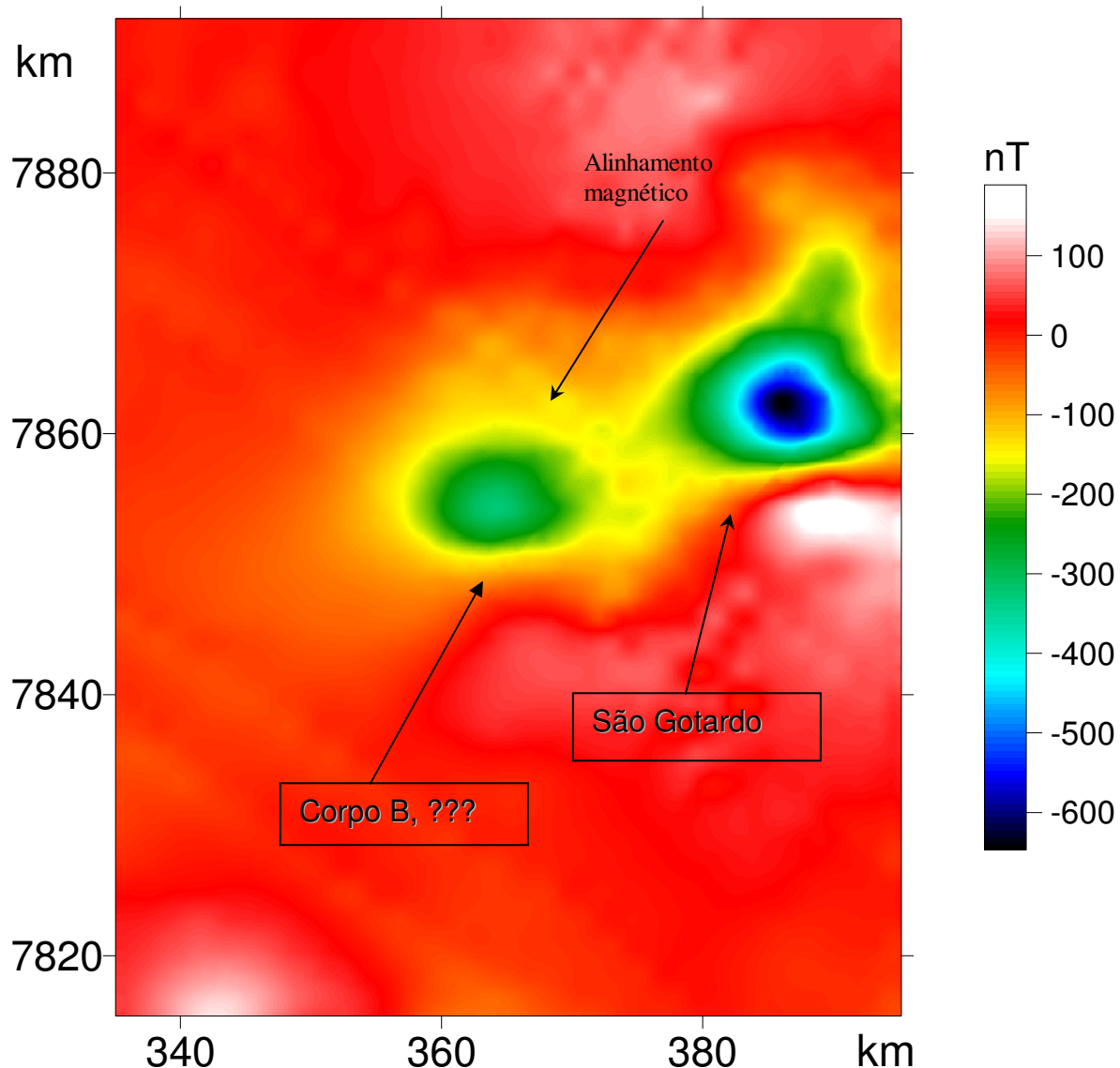


Figura 13.1. Mapa anômalo magnético do levantamento aerogeofísico do Convênio Brasil-Alemanha (CPRM, 1972). No mesmo mapa observam-se alinhamentos magnéticos na direção NW.

Na Figura 13.2 observa-se através dos dados aeromagnéticos um alinhamento que esta cortando as duas anomalias bem como a rocha encaixante.

É improvável que esse dique esteja cortando o corpo alcalino de São Gotardo, se todo o conjunto anômalo magnético for representativo de um único dipolo, ou seja, apenas de São Gotardo a não ser que São Gotardo tenha o mesmo comportamento estrutural observado na alcalina de Juquiá, com presença de fraturas subdividindo o complexo.

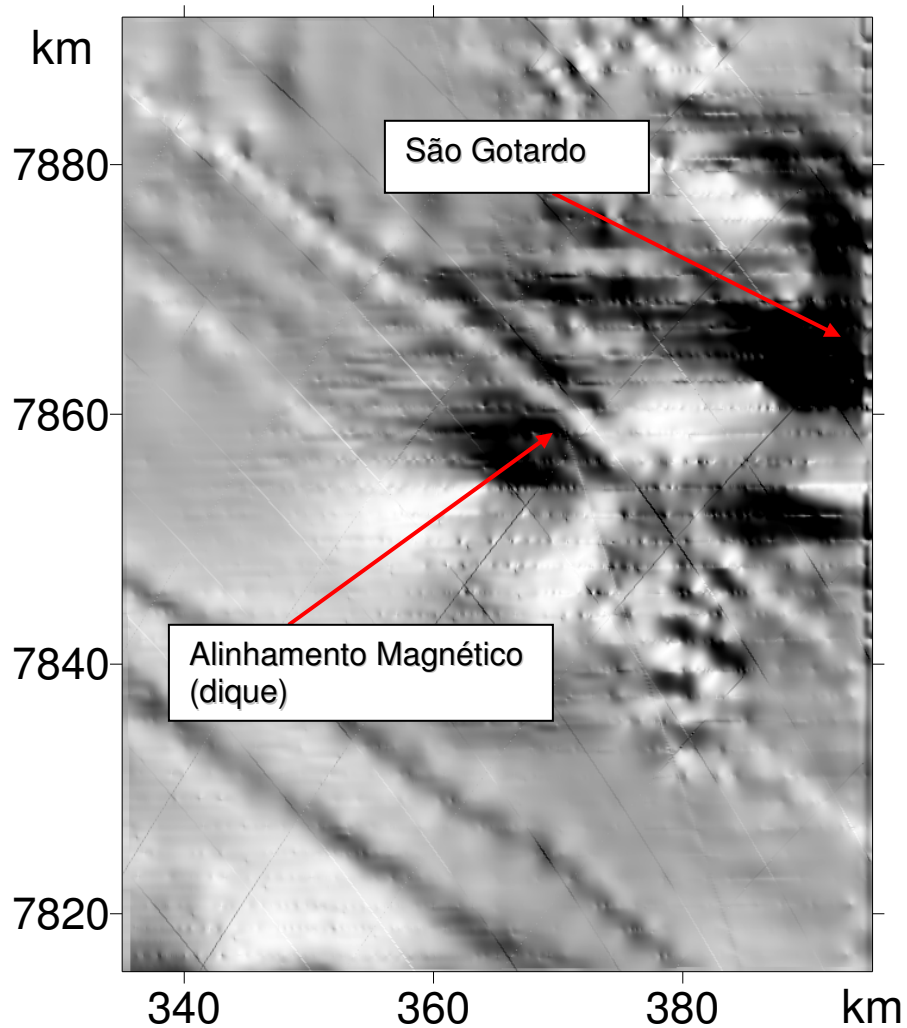


Figura 13.2. Mapa anômalo magnético do levantamento aerogeofísico do Convênio Brasil-Alemanha, visualizado em escala de relêvo sombreado (CPRM, 1972). No mesmo mapa observam-se alinhamentos magnéticos na direção NW, que divide a anomalia em duas e corta a rocha encaixante.

No mapa topográfico (Figura 13.3), obtido pelos dados do SRTM (Nasa, 2000), é verificada uma estrutura circular nas proximidades de São Gotardo, interpretada como sendo o Corpo B.

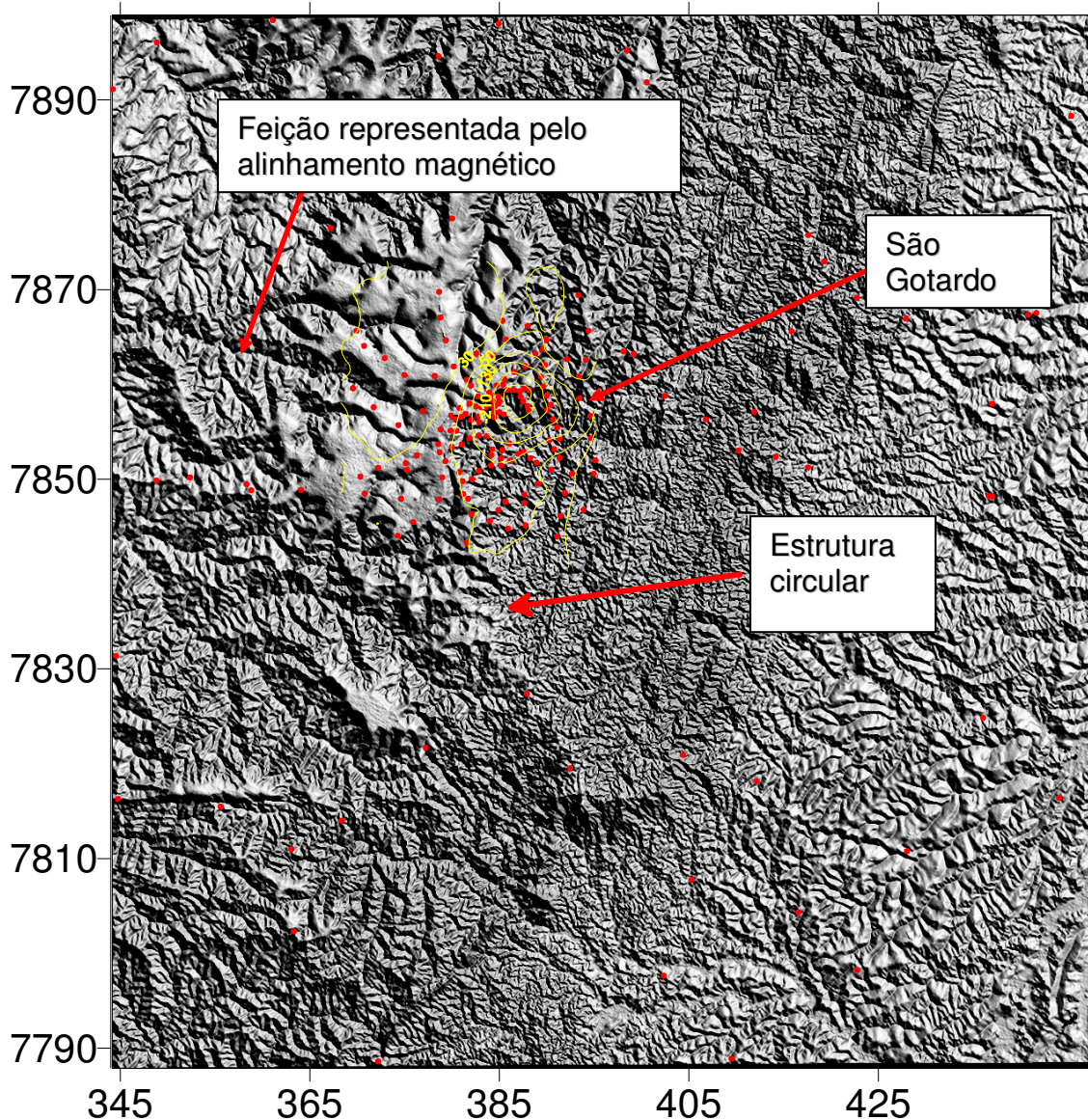


Figura 13.3. Mapa topográfico obtido pelo SRTM (NASA, 2000). Os pontos na cor vermelha indicam as estações gravimétricas sobre São Gotardo. As setas indicam a localização do Corpo B (estrutura circular), São Gotardo e do alinhamento magnético representado por uma falha.

Comparando as Figuras 13.2 e 13.3, nota-se que os alinhamentos magnéticos e os alinhamentos geomorfológicos (falhas, preenchida por intrusões) apresentam-se rotacionados um em relação ao outro. Os alinhamentos magnéticos estão na direção  $50^{\circ}$  NW enquanto que as falhas estão direcionadas na atitude  $75^{\circ}$  NW. Uma rotação de  $25^{\circ}$  para Oeste nos dados aeromagnéticos é possível, já que corrigindo essa rotação as anomalias possuem correlação com a geomorfologia. Rotacionando os dados verifica-se que a estrutura circular (Corpo B) observada na Figura 13.3 se acopla à anomalia a SW de São Gotardo, compondo-se num outro corpo possivelmente intrusivo, devido ao seu comportamento geomorfológico, típico de crateras vulcânicas.

A rotação dos dados aeromagnéticos é possível, haja vista que nos antigos levantamentos aeromagnéticos o seu posicionamento era realizado através de cartas topográficas e do uso do efeito Doppler, sem a aplicação de técnicas mais modernas como é o caso do uso de GPS (Global Position Satellite).

Os dados magnéticos foram reduzidos ao pólo através de uma inclinação de  $58^{\circ}$  e direção de magnetização NS (Figura 13.4). A inclinação de  $58^{\circ}$  é equivalente àquela observada para os diques do Arco de Ponta Grossa (Ussami et al., 1991).

A anomalia de polaridade negativa verificada na Figura 13.5, indica que provavelmente exista um carbonatito nesse local, comparativamente a resposta magnética dos demais carbonatitos, sendo citados Juquiá, Jacupiranga e Serra Negra, ou o seu alojamento se deu num período de inversão magnética.



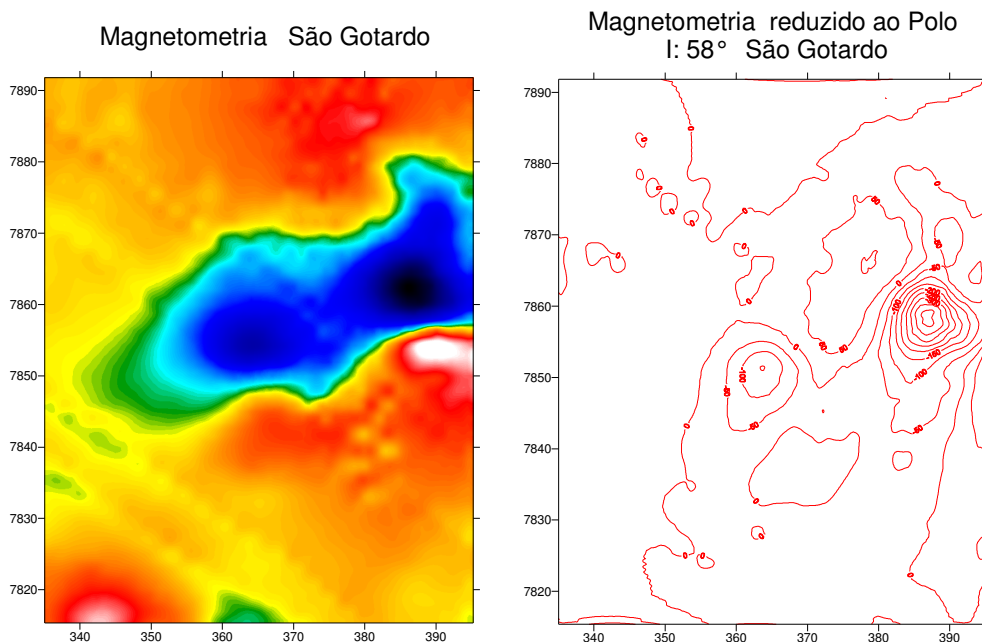


Figura 13.4. Mapa anômalo magnético de São Gotardo (esquerda); Anomalia reduzida ao pólo (direita).

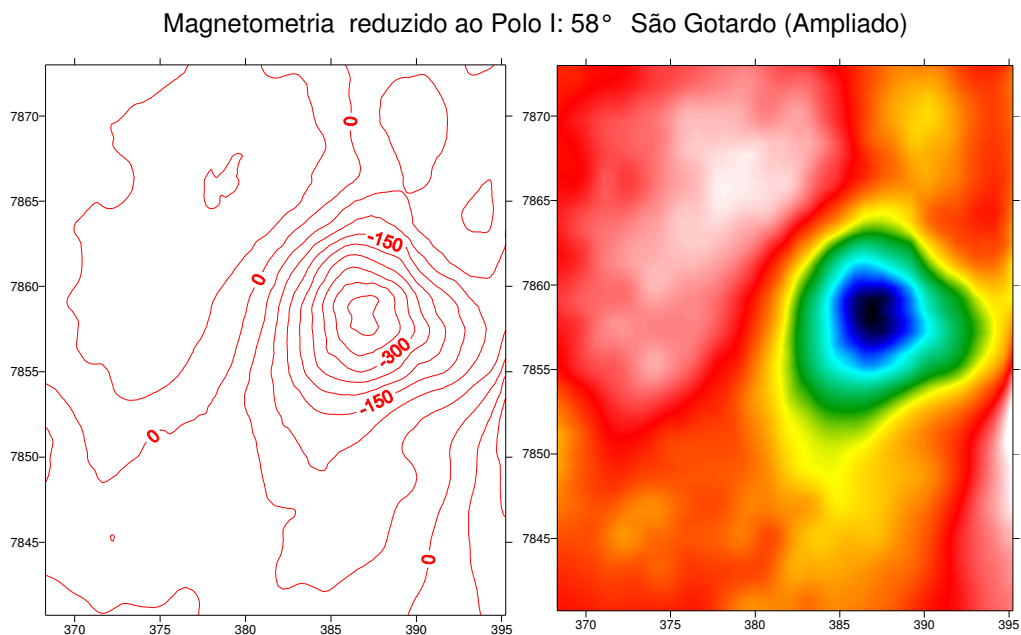


Figura 13.5. Campo magnético reduzido ao pólo para uma inclinação de 52° e direção de magnetização NS. As isolinhas do campo a esquerda estão em unidades de nT. O mínimo valor no centro da anomalia é de -423 nT.

### **13.5 Gravimetria**

A metodologia aplicada na aquisição de dados gravimétricos foi a mesma utilizada nos demais complexos alcalinos, sendo contabilizado um total de 132 novas estações de medidas, que compuseram 206 estações gravimétricas utilizadas no estudo, todas referenciadas a estação gravimétrica n°1815 do IBGE, lotada na Igreja Matriz de São Gotardo.

São Gotardo não apresenta campo anômalo representativo, sendo sua resposta observada na Figura 13.6. A alcalina possui apenas campo anômalo magnético sendo destituído do gravimétrico, como ocorre com a alcalina de Tunas. A falta de anomalia mostra que a rocha encaixante composta pela Formação Uberaba possivelmente possui densidade equivalente a da alcalina. Outro fator observado é existência de altos gravimétricos abaixo da rocha encaixante, sugerindo a presença de eventos vulcânicos, na forma de *sills* e diques. O efeito magnético das vulcânicas, -104 a 98 nT, (Figura 13.6) podem estar mascarando o sinal gravimétrico da alcalina de São Gotardo, devido a sua maior densidade, diminuindo o contraste entre encaixante e alcalina. O campo magnético indica a presença de minerais ferrimagnéticos na alcalina, em face de sua resposta intensa e dipolar, sendo o carbonatito de baixa concentração de ferromagnéticos, não se caracterizando como um ferro carbonatito. O baixo gravimétrico ao lado da alcalina de São Gotardo é a resposta de um platô topográfico.

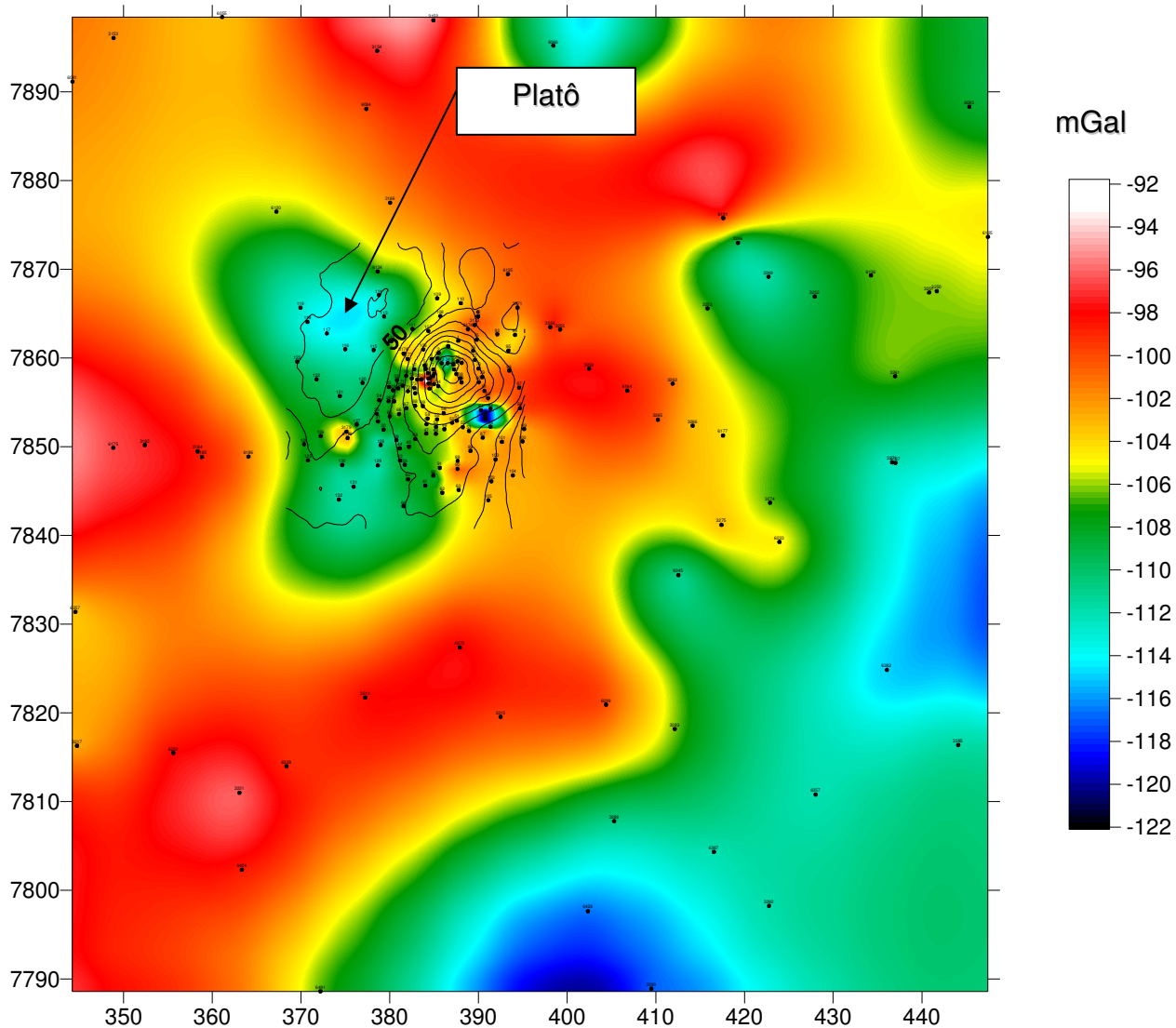


Figura 13.6. Mapa anômalo Bouguer na escala de cores. As isolinhas na cor preta representam o campo magnético reduzido ao pólo. Os pontos pretos indicam as posições das estações gravimétricas.

### **13.6 Modelo Magnético**

O programa utilizado na modelagem 3D foi o IGMAS (Götze & Lahmeyer, 1988). Os dados utilizados no modelamento foram os do levantamento aerogeofísico do convênio Brasil-Alemanha. Os mapas anômalos magnéticos reduzidos ao pólo, observado (à esquerda) e modelado (à direita) são visualizados na Figura 13.7. As linhas do campo são subcirculares e concêntricas. O modelo representa um corpo homogêneo, onde o campo anômalo sugere o formato de um corpo semelhante a um “*plug*” com raiz, ou até mesmo de um cone (*pipe*) com diminuição das secções de área em profundidade. O modelo é semelhante aos demais corpos alcalinos modelados através da gravimetria.

A análise estatística do modelo é verificada na Figura 13.8. O campo residual dentro da área onde se concentra o modelo é próximo de zero, sendo que nas bordas os valores anômalos de ajuste não são satisfeitos, evidentemente porque não foram modelados adequadamente. O desvio padrão dos resíduos entre o modelo e o campo observado é da ordem de 40 nT, onde apenas 2% dos dados possui valores residuais de 100 nT. A correlação é de 91%, sendo um modelo representativo, mesmo para o tipo de dados utilizados na modelagem. Os levantamentos aéreos possuem incertezas maiores do que a dos levantamentos terrestres, principalmente porque as linhas de vôo não cobrem completamente o corpo, sendo os dados fora das linhas de vôos interpolados. A interpolação adiciona uma componente de imprecisão no modelo.

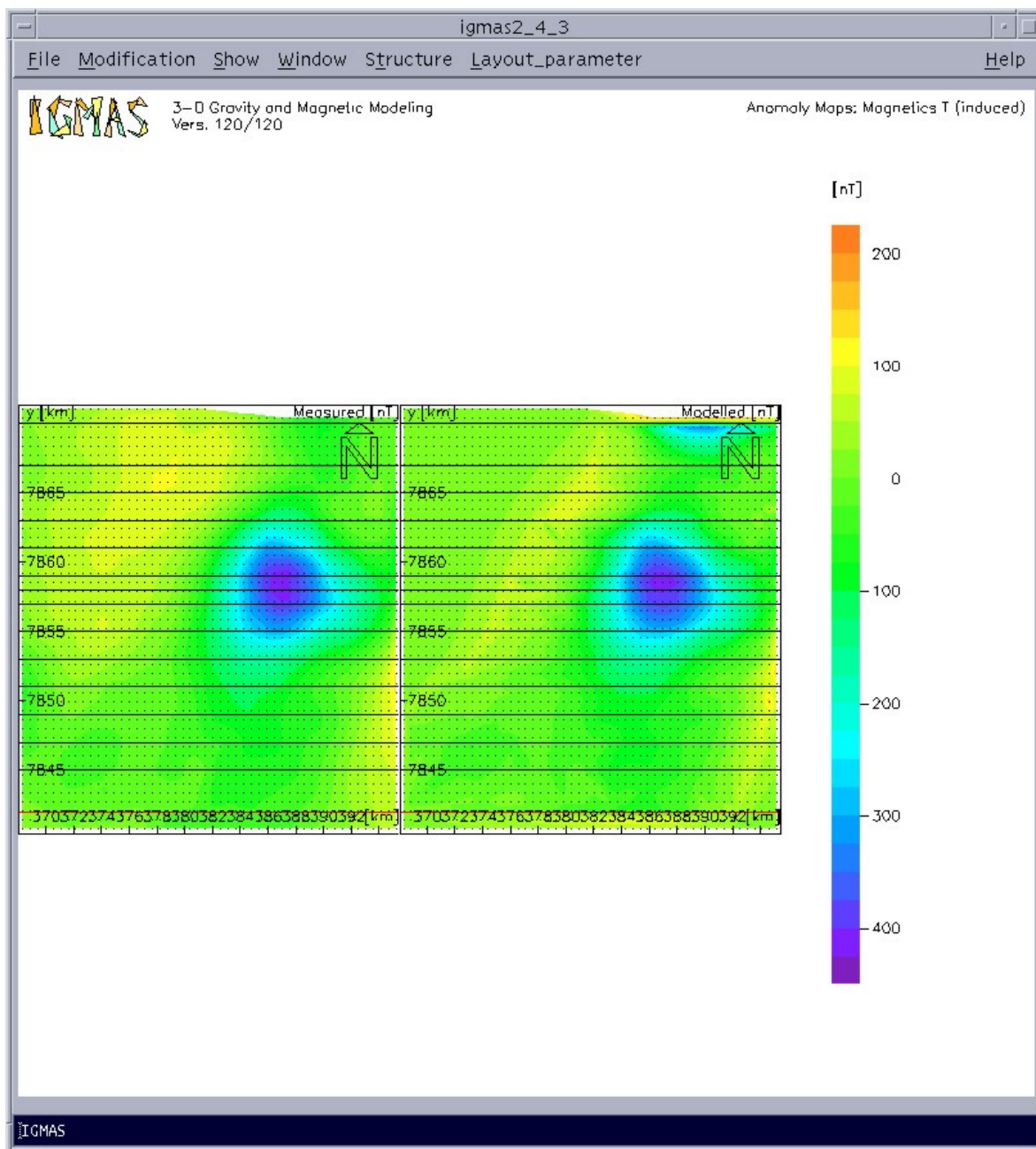


Figura 13.7. Campo magnético reduzido ao pólo, modelado (á direita) e campo observado (á esquerda). Os mínimos valores são da ordem de 400 nT, constituindo numa polaridade negativa.

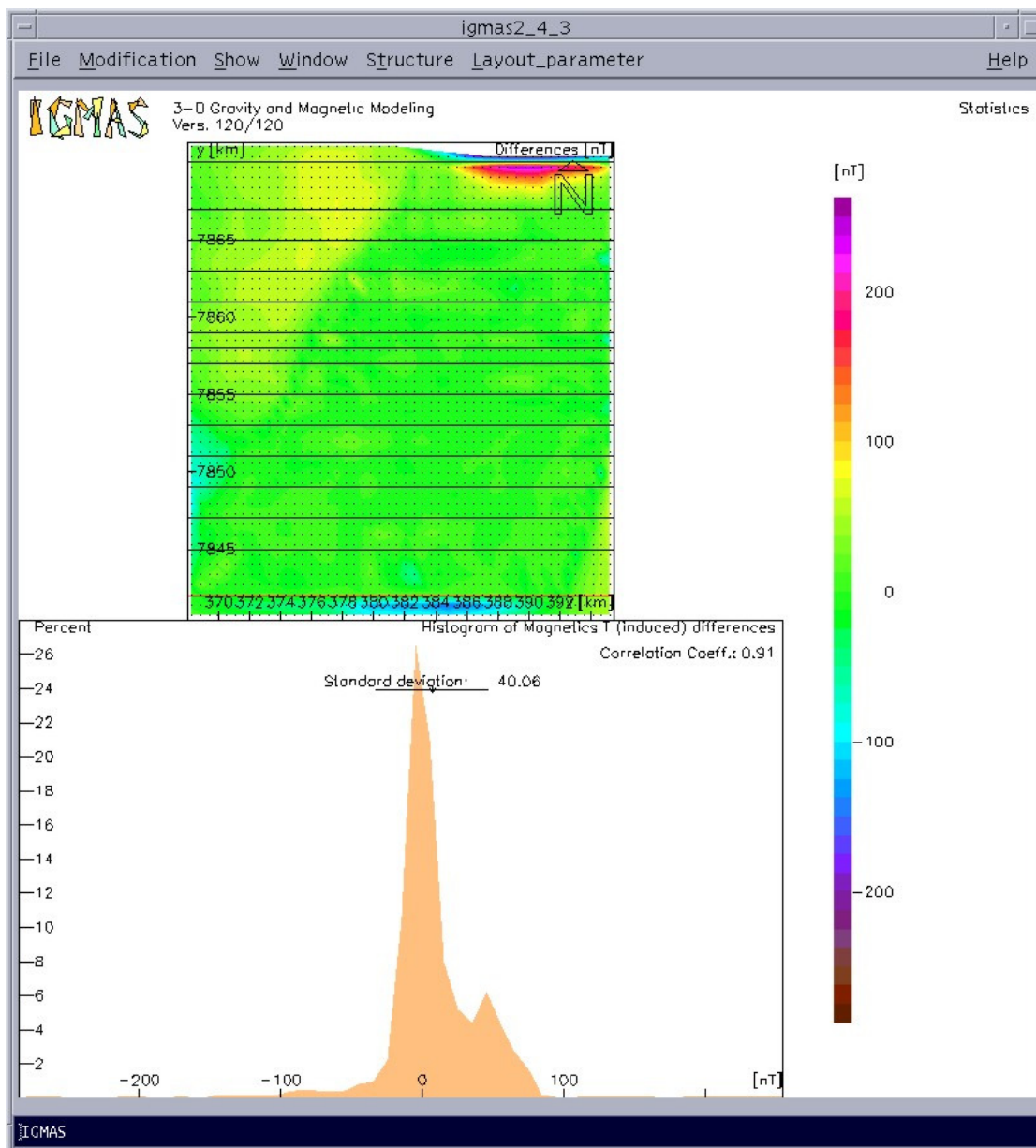


Figura 13.8. Análise estatística do modelo tridimensional do IGMAS sobre os dados aeromagnéticos, reduzidos ao pólo.

Os parâmetros obtidos foram: massa de  $0.21134 \times 10^{14}$  kg; volume de  $0.2895 \times 10^3$  km<sup>3</sup>. A magnetização utilizada foi de -1.5 A/m, sendo que para magnetizações menores o corpo deve apresentar uma profundidade maior, mantendo-se valores negativos de magnetização. O valor negativo na magnetização indica apenas a direção de magnetização e não do valor em si. A magnetização da encaixante foi definida como zero. A máxima profundidade alcançada para esse modelo é de 3.5 km.

Na Figura 13.9 é observado o mapa de profundidade do modelo: a máxima profundidade de 3.5 km está localizada no centro do corpo, sendo que nas porções superiores o modelo indica que os minerais magnéticos são lixiviados além dos limites do corpo devido ao intemperismo, formando uma capa de materiais ferrimagnéticos na superfície. Outra possibilidade seria a presença de um derrame vulcânico tendo, como resposta essa capa magnética; neste caso se verificaria uma viscosidade baixa para o magma alcalino.

Um perfil do modelo na direção NE é disponibilizado na Figura 13.10. No perfil observa-se que o campo magnético modelado tem um bom ajuste ao campo medido. No modelo é possível notar que pode ser inferida uma capa na forma de um derrame de lava na superfície do corpo, com espessura de 300 a 400 metros. No mesmo perfil nota-se que o campo anômalo em média é simétrico em relação ao valor de mínimo.

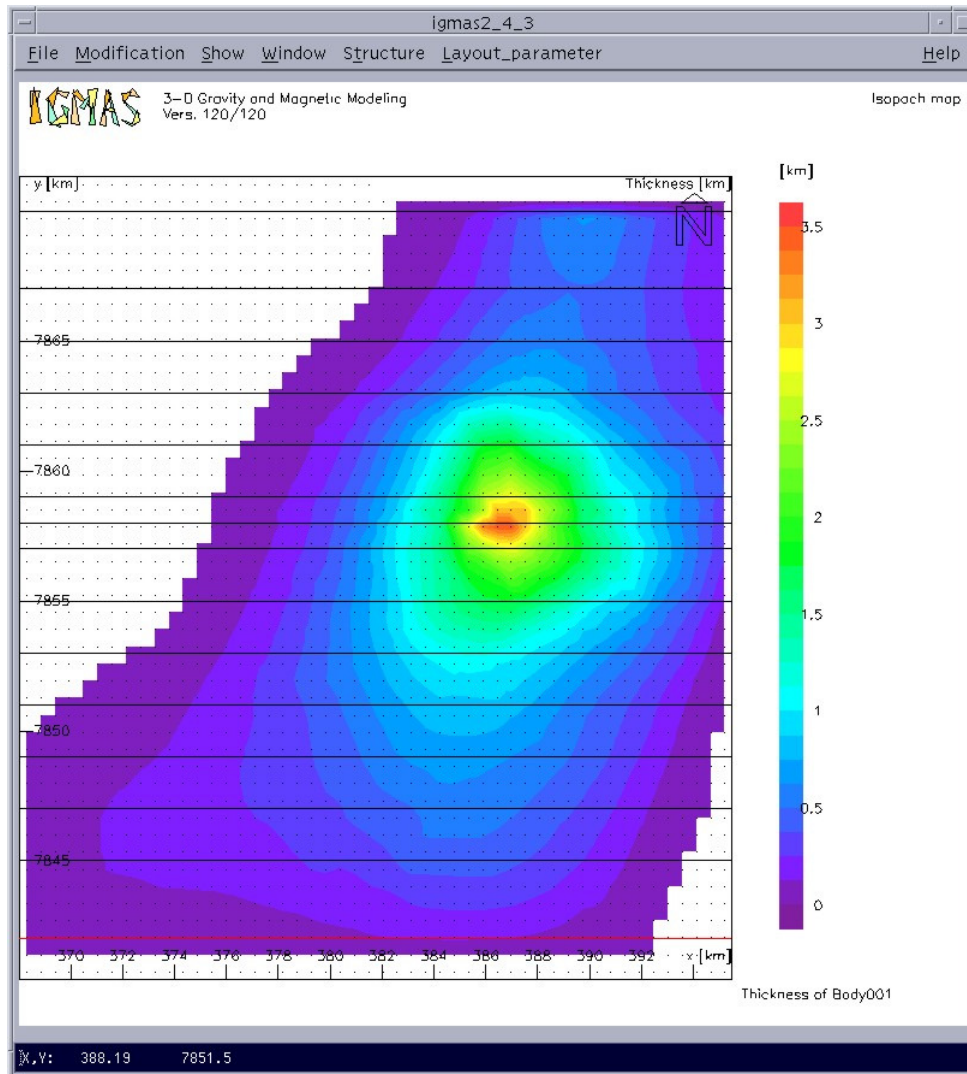


Figura 13.9. Mapa de isópachas de profundidade do modelo.



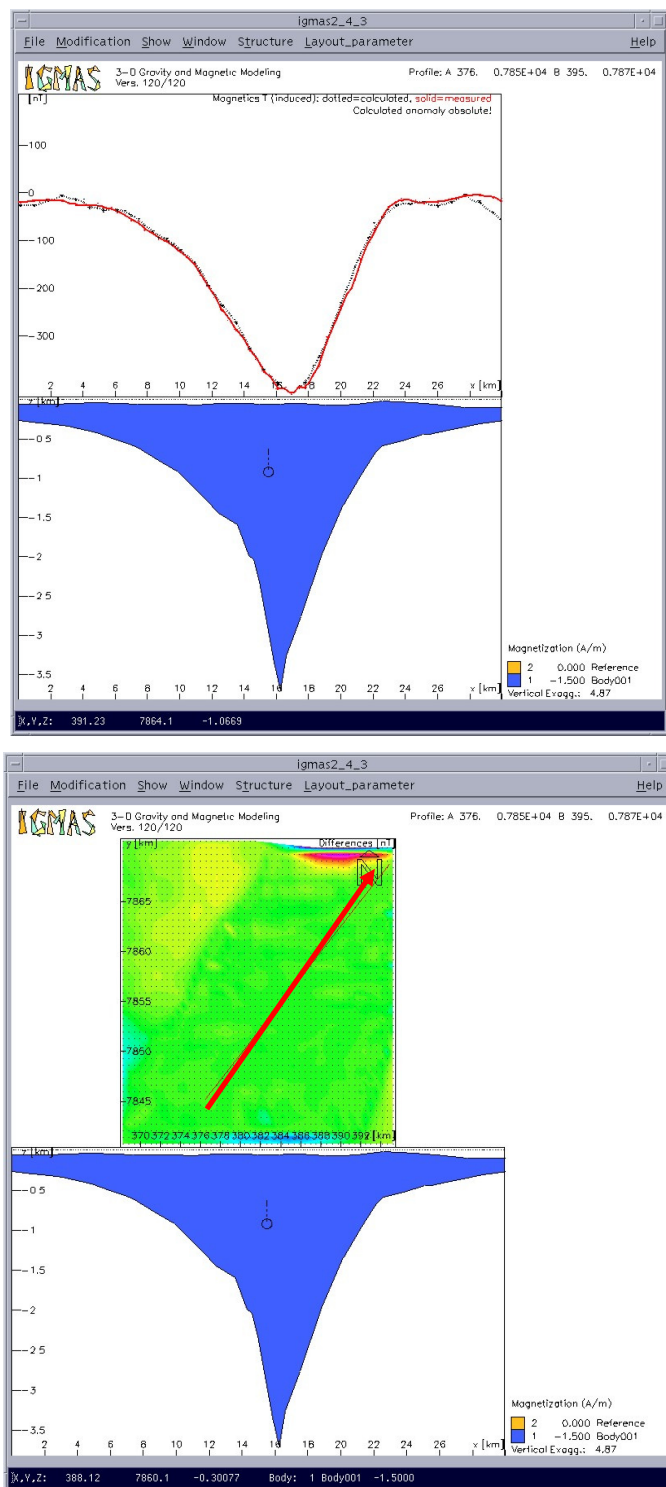


Figura 13.10. Perfil do modelo obtido no IGMAS. Na figura inferior observa-se a orientação do perfil e na superior o perfil em si.

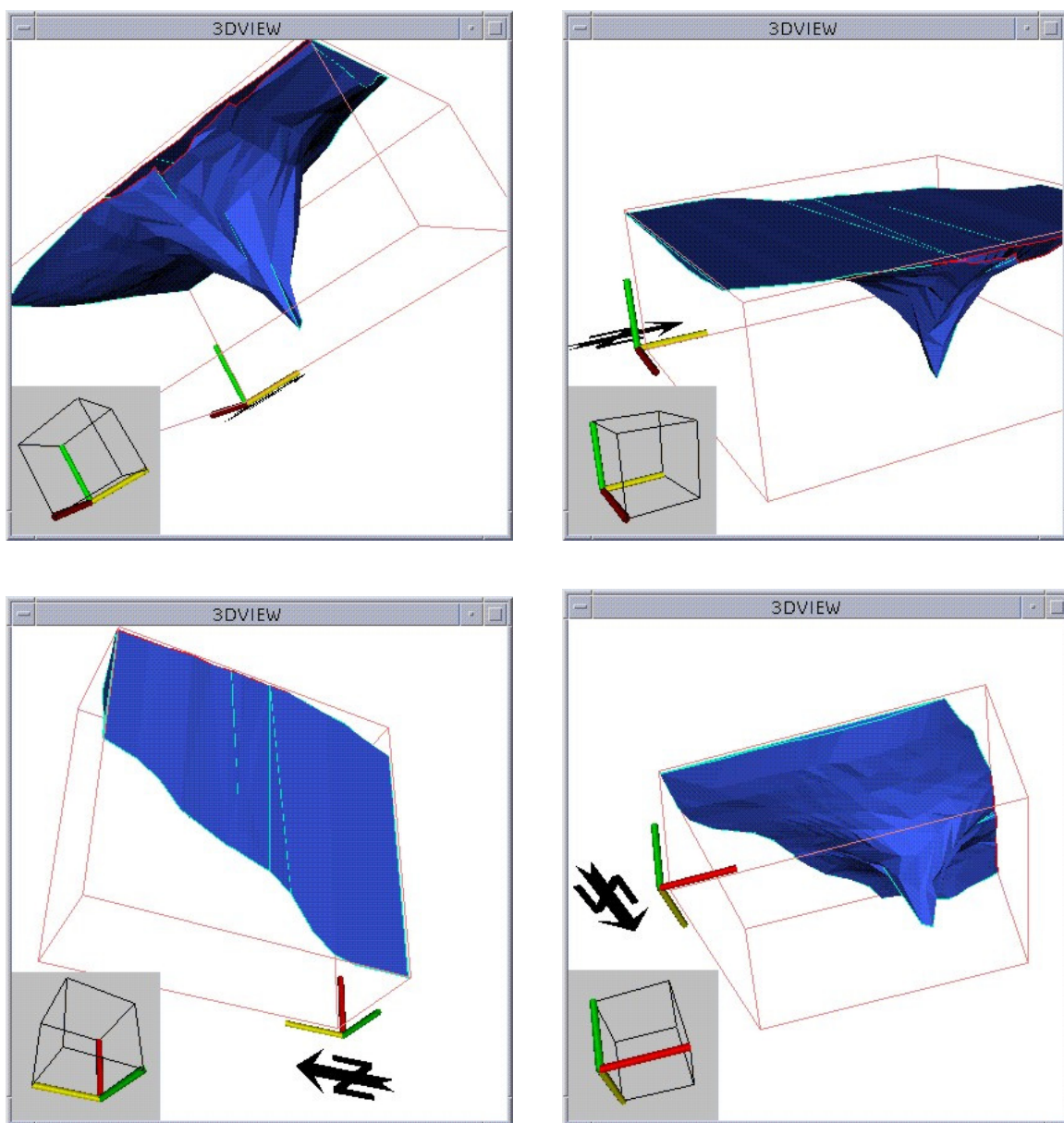


Figura 13.11. Modelo 3D do corpo de São Gotardo.

### **13.7 Conclusão**

Algumas propriedades físicas e geométricas foram obtidas através do modelo 3D do campo aeromagnético de São Gotardo. Os parâmetros foram: massa de  $0.21134 \times 10^{14}$  kg; volume de  $0.2895 \times 10^3$  kg, máxima profundidade 3.5 km. A magnetização estimada foi de  $-1.5$  A/m, sendo que para magnetizações maiores o corpo deve apresentar uma profundidade maior. O sinal negativo da magnetização pode indicar a orientação da magnetização, ou da presença de um carbonatito com as dimensões da anomalia magnética reduzida ao pólo.

É possível que o corpo tenha tido eventos de derrame magmático na superfície da alcalina. O formato do corpo é equivalente ao de um cone de maior secção de área na superfície, afinando-se em profundidade.

O modelo apresenta boas características estatísticas, com correlação da ordem de 91%. O campo magnético foi reduzido ao pólo para uma inclinação de  $52^\circ$  e direção de magnetização NS. Essa direção de magnetização é compatível à observada para os corpos máficos - ultramáficos da região do Domínio Apiaí (Ussami et al., 1991).

Foi identificada uma rocha com estrutura de cratera, através dos dados de topografia e os dados aeromagnéticos (Figura 13.3; Figura 13.4). A estrutura foi denominada de Corpo B. Uma correlação entre dados topográficos e aeromagnéticos indica que os dados magnéticos estão rotacionados no espaço.

A alcalina de São Gotardo não apresenta anomalia gravimétrica como ocorre com a alcalina de Tunas-PR.

### **13.8 Referência**

CPRM, 1972. Companhia Brasileira de Geofísica (CPRM).

DNPM/PRAKLA SEISMOS. Convênio Geofísico Brasil-Alemanha – Mapa de isoanômalas intensidade magnética total.

Ellert, N., & Hasui, Y, 1969. Magnetometria Aplicada à Região de São Gotardo, MG. Bol. Da Sociedade Brasileira de Geologia, V. 18, N°1.

GÖTZE, H. J. and LAHMEYER, B., 1988. Application of three-dimensional iterative modeling in gravity and magnetics, geophysics vol. 53 nº 8

GROSSI SAD, J. H. & TORRES, N. Geologia e Recursos Minerais do Distrito de Barreiro, Araxá, MG. DNPM,1970.

Hasui, Y., 1967. Geologia Das Formações Cretáceas do oeste de Minas Gerais. Tese de Doutorado, Dep. de Engenharia de Minas da escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Hasui, Y., & Hassano, S., 1969. Indício de um Novo foco de Rochas Alcalinas em São Gotardo, Estado de Minas Gerais. Vol. 41 (2).

NASA, 2000. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Ussami, N., Kolisnyk, A., Raposo, M., FERREIRA, F. J.F., Molina, E.C., Ernesto, M., 1991. Detectabilidade Magnética de Diques do Arco de Ponta Grossa: Um Estudo Integrado de Magnetometria Terrestre /Aérea e Magnetismo de Rocha . Revista Brasileira de Geociências. 21(4):317-327.