

## **12.1 Resumo**

Realizou-se uma análise conjunta de todas as informações disponíveis, geofísicas e geológicas sobre o complexo alcalino de Araxá, para estabelecer vínculos na confecção de um modelo gravimétrico 3D representativo da intrusão.

Araxá possui campo magnético dipolar intenso, sendo esse característico das intrusões alcalinas ultrabásicas, como no caso das alcalinas do Vale do Ribeira. Evidentemente uma capa sílexítica ou de carbonatito não gera anomalias dessa magnitude.

A gravimetria foi utilizada na pesquisa já que permite a determinação de parâmetros espaciais, volumétricos e de densidade do corpo estudado quando esse apresenta valores anômalos no campo gravitacional.

Os dados gravimétricos apresentaram um alto gravimétrico da ordem de 20 mGal sobre o corpo alcalino. O formato do campo gerado por Araxá é quase circular, formando isolinhas concêntricas de 0 a 20 mGal.

A imagem tridimensional de Araxá, num formato 3D irregular é semelhante aos demais complexos alcalinos que apresentam valores anômalos intensos. É apresentada a estimativa de seu volume ( $0,29680 \times 10^2 \text{ km}^3$ ) e massa de ( $18,7 \times 10^3 \text{ Mton}$ ), para uma densidade de  $3,3 \text{ g/cm}^3$ , para a alcalina, e de  $2,673 \text{ g/cm}^3$  para a encaixante. A máxima profundidade obtida para o modelo foi de 2,2 km.

## **12.2 Introdução**

O complexo alcalino de Araxá está localizado próximo do município de Araxá-MG na região do alto Paranaíba. A área de estudo está inserida na área do levantamento aerogeofísico do projeto Brasil-Alemanha da CPRM (1972), que forneceu as primeiras informações geofísicas do objeto de estudo. O complexo vem sendo palco de exaustiva exploração do carbonatito visando a retirada de fosfatos para a produção de fertilizantes.

A alcalina de Araxá possui uma intensa anomalia magnética de característica dipolar localizada a aproximadamente 6 km da cidade de Araxá-MG. O geólogo Djalma Guimarães (1953), ao analisar os dados do levantamento aerogeofísico, encontrou rochas de caráter intrusivo confirmando assim, a presença de uma rocha alcalina naquela área. (Rodrigues & Lima, 1984).

Os dados gravimétricos foram adquiridos em fevereiro de 2005 através do IAG/USP, resultando na configuração da anomalia numa geometria favorável ao modelamento 3D do corpo. A determinação de parâmetros físicos e geométricos da rocha alcalina é de importância para determinação posterior de parâmetros para a exploração do carbonatito. Informações estruturais podem ser estabelecidas através do seu modelo 3D resultando na determinação de direções preferenciais para a prospecção mineral.

Do ponto de vista acadêmico o processo de alojamento de intrusões alcalinas bem como sua estimativa de massa e volume podem contribuir para um modelamento regional tectônico, tais como: domeamento devido à presença de

pontos quentes, rifts continentais, bacias plataformais e soerguimento de platôs (Crough, 1993; Morgan & Baker, 1983).

### **12.3 Geologia**

A rocha encaixante do complexo alcalino é composta pelo grupo Araxá, sendo descrita como um terreno tectonoestratigráfico (Howell, 1993). O terreno Araxá é constituído por uma seqüência ígnea máfica (anfíbolito e xisto máfico com rochas metaultramáficas subordinadas) capeadas por rochas metassedimentares predominantemente pelíticas. O conjunto foi metamorfoseado sob condições de fácies anfíbolito há cerca de 630 Ma e foi intrudido por granitos com assinatura geoquímica colisional (Seer, 1999). Os anfíbolitos são derivados de protólitos basálticos e gabróides. Os basaltos são similares a toleítos de alto FeO, com ETR (Elementos de Terras Raras). As rochas metassedimentares provavelmente representam sedimentos depositados em águas marinhas profundas. O conjunto representa um fragmento de crosta oceânica, que evoluiu a partir de uma fonte mantélica enriquecida em elementos incompatíveis.

O Grupo Araxá, onde está alojado o Complexo Carbonatítico do Barreiro (carbonatito da Alcalina de Araxá), constitui predominantemente seqüências originais de rochas formadas por sedimentação de mar profundo e de plataforma continental, vulcanismo contemporâneo e suítes sin-orogênicas de rochas plutônicas, sendo o conjunto metamorfoseado e deformado. Essa característica dificulta o estabelecimento da sucessão estratigráfica original.

Quartzitos e micaxistos do grupo Araxá são as rochas encaixantes do complexo carbonatítico do Barreiro. Quartzito predomina próximo ao contato com a intrusão, formando um anel com espessura variando de 100 a 600 metros (Figura 12.1). Os quartzitos apresentam textura granoblástica e, devido à deformação plástica dos grãos de quartzo, mostram-se, às vezes, foliadas. Estreitos níveis silicíticos e grãos dispersos de feldspatos detrítico estão, também, presentes nesta rocha. Envolvendo o anel quartzítico, ocorre a seqüência de mica com leitos subordinados de quartzito.

O Mapa Geológico do Complexo do Barreiro, Figura 12.1, (Grossi & Torres, 1976) mostra que o Complexo Carbonatítico do Barreiro é aproximadamente circular e apresenta um diâmetro de cerca de 4,5 km. Sua intrusão ocorreu há aproximadamente 90Ma ano (método K-Ar), provocando o arqueamento das rochas encaixantes e causando também fraturas radiais e concêntricas nas rochas pré-existentes.

Na zona de contato, a fenitização manifestou-se sob forma de veios/vênulas, constituídos principalmente de anfibólio sódico, que preenchem na zona de contato as fraturas e falhas nos quartzitos. Alguns fenitos quartzo-feldspáticos são observados.

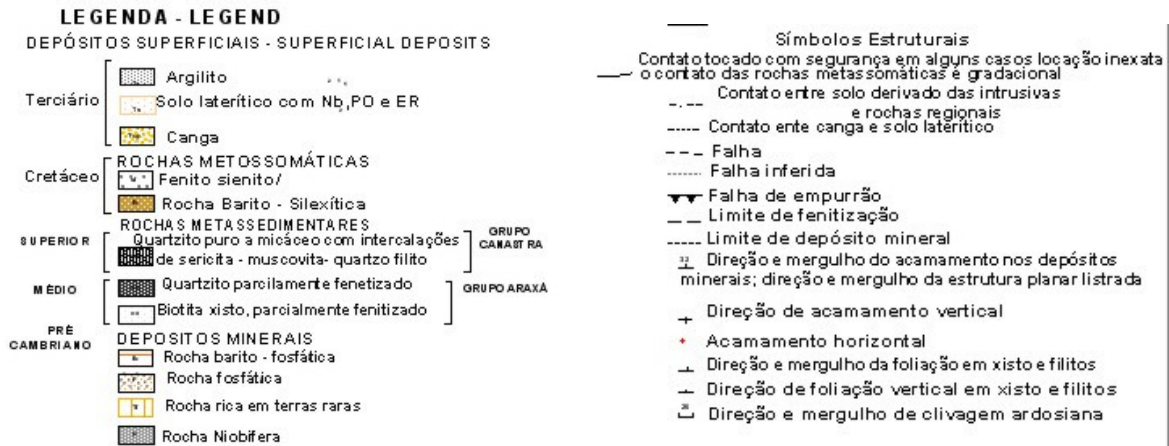
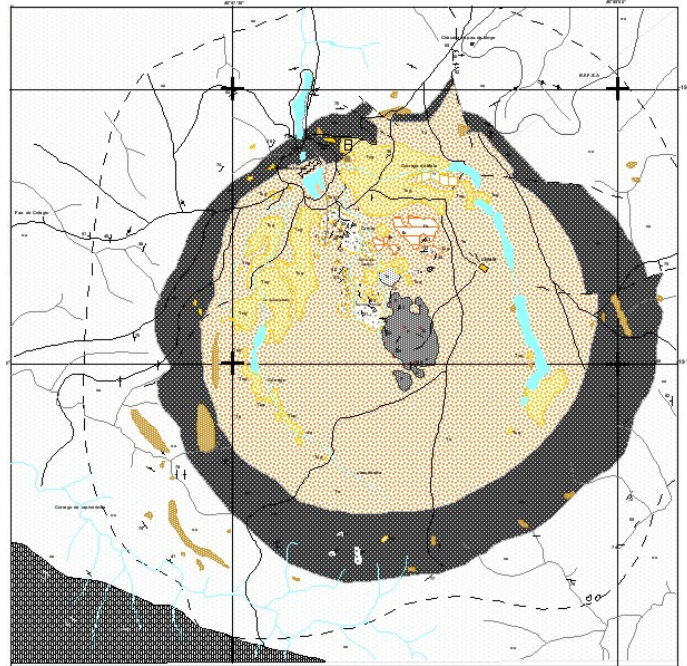


Figura 12.1. Mapa geológico da Alcalina de Araxá modificado de Filho et al. (1984).

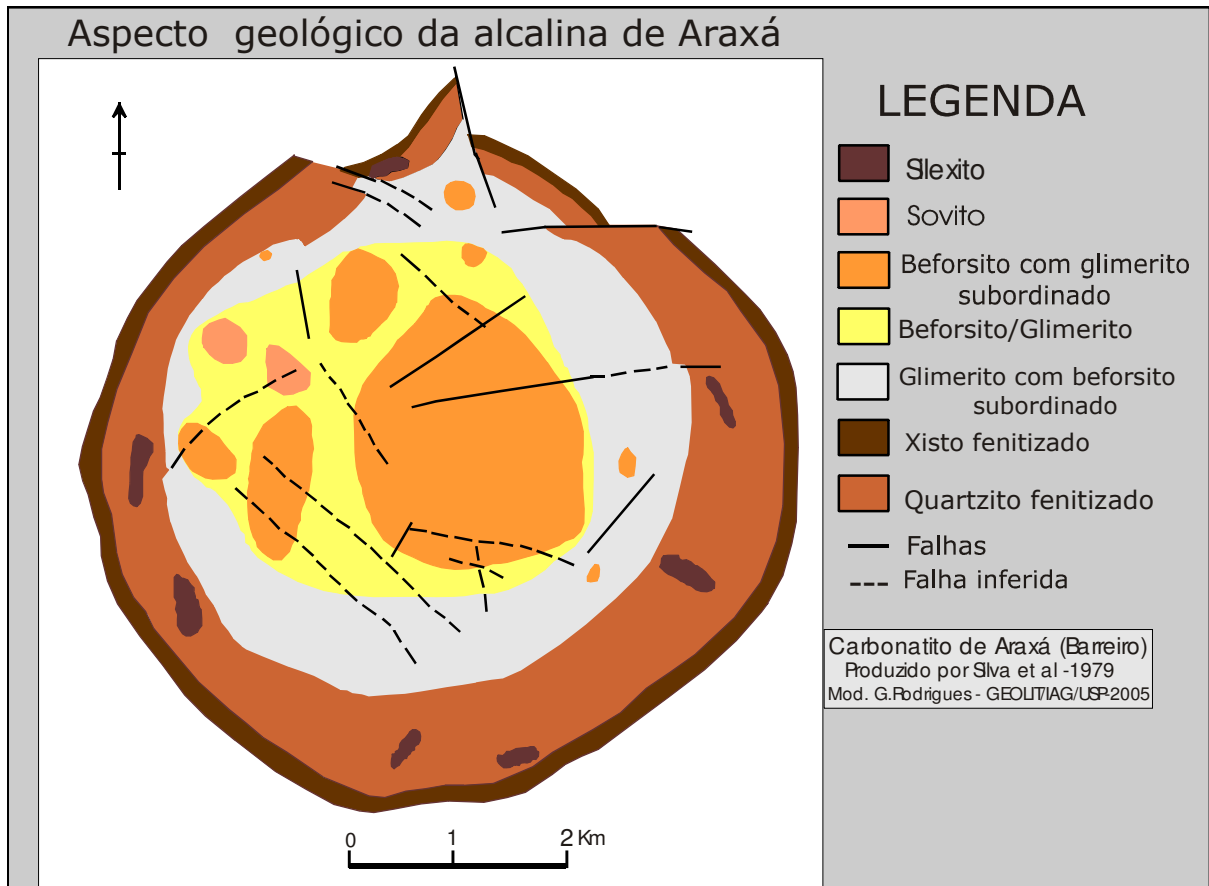


Figura 12.2. Mapa da superfície geológica do complexo Carbonatítico do Barreiro (modificado de Grossi & Torres, 1976).

O principal corpo de rochas carbonatíticas tem forma arredondada com aproximadamente 2 km de diâmetro estando situada na parte central do complexo do Barreiro (Figura 12.2).

A observação dos testemunhos de sondagens mostra que o carbonatito ocorre principalmente num sistema complexo de veios e diques, com espessuras centimétricas a milimétricas, permeando as rochas glimeríticas. As injeções do material carbonatito ocorrem em varias fases. “Nota-se na intrusão uma intensa

*fase hidrotermal atuante devido à presença de glimeritos e da estrutura fechada”.*

(Seer, 1999)

Estudos petrográficos revelam que os carbonatitos são, principalmente, do tipo beforsíticos de granulação média a grosseira e principalmente a dolomita. Calcita e a ankerita são subordinados a barita, apatita, magnetita, perovskita, quartzo secundário, pirita, flogopita, anfibólio sódico, estroncianita e outros, podem também, estar presentes no beforsito.

Um carbonatito metassomático derivado de provável piroxenito foi descrito em testemunhos de sondagem, na porção centro-oeste do Barreiro (Mariano, 1975); esse carbonatito preserva a textura da rocha ígnea original. Sovitos típicos estão restritos à porção NW do complexo, ocorrendo também como diques estreitos nas rochas encaixantes (Silva, et al, 1979).

#### **12.4 Geofísica**

A região já havia sido palco de aquisição geofísica através do levantamento aeromagnético do Projeto Brasil – Alemanha. Esse projeto teve sua conclusão no ano de 1972, sob 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. O campo magnético de Araxá é observado na Figura 12.3. O campo magnético tem um comportamento quase dipolar, sendo os dois máximos do campo resultado da posição geográfica em que se encontra a alcalina. A amplitude do campo é da

ordem de 650 nT, característica de intrusões máficas, sendo que o máximo anômalo é de 24.400 nT e o mínimo de 23.750 nT. A direção da magnetização é aproximadamente 10°NW.

Com base na resposta magnética de Araxá optou-se pela investigação gravimétrica sobre o corpo, para determinar a forma, limites espaciais, massa e densidade da alcalina. Como a resposta magnética era semelhante às demais das alcalinas máficas – ultramáficas esperava-se que o campo gravimétrico também fosse similar, apesar da capa de rochas carbonatíticas, glimeríticas e silexíticas presentes na sua porção mais superficial serem de baixa densidade e do campo magnético ser característico de rochas como peridotito, piroxenito, etc.

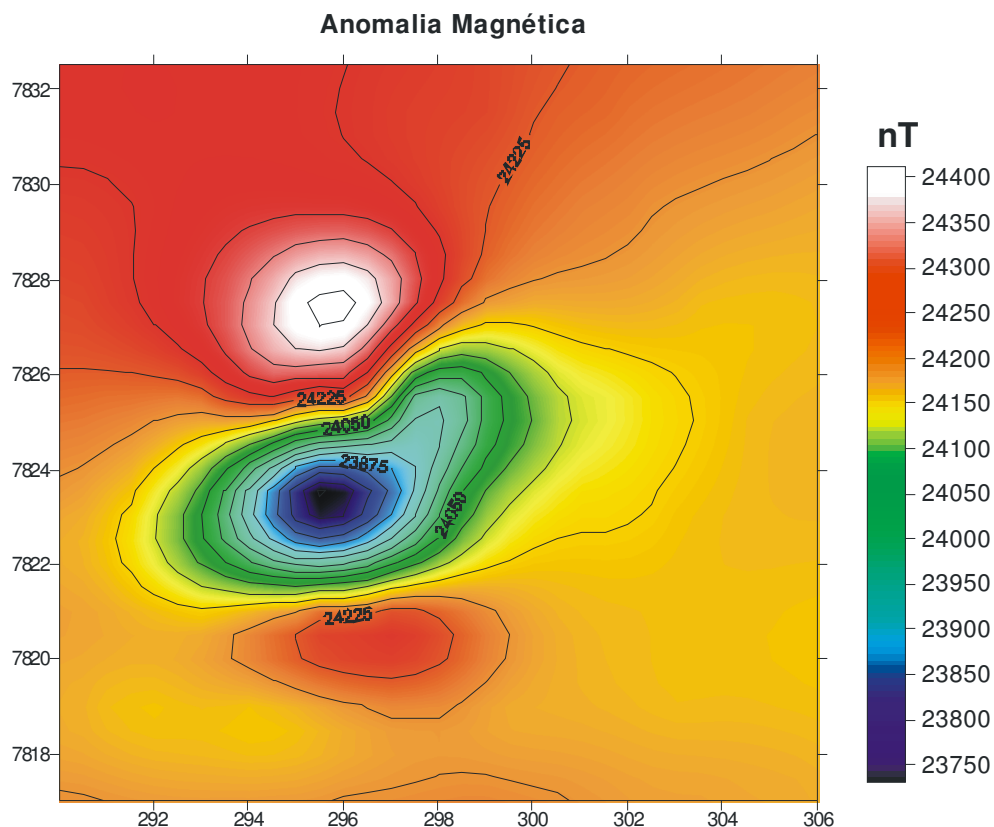


Figura 12.3 - Mapa de anomalia magnética sobre o complexo alcalino de Araxá.



### **12.5 Aquisição dos Dados**

Os dados gravimétricos foram adquiridos com o gravímetro relativo Lacoste & Romberg – tipo G. A acurácia deste equipamento é de 0,04 mGal e a deriva instrumental é inferior a 1 mGal/mês. Utilizou-se como base gravimétrica a igreja Matriz de Araxá de coordenadas (19°40'S; 46°57'W). O intervalo entre as estações de medida sobre perfis nas proximidades da alcalina foi de 500 metros e para aquelas mais distantes (distância superior do limite geográfico do corpo) de 1500 a 3000 metros, estes com o objetivo de caracterizar o campo regional. A densidade espacial das estações, sobre a alcalina, cumpre seu objetivo na amostragem do formato da intrusão, possibilitando, portanto sua posterior modelagem 3D.

As demais informações sobre a aquisição são observadas no Capítulo III, página 2.

O mapa topográfico é verificado na Figura 12.4, através dos dados SRTM (NASA, 2000). A topografia é extremamente irregular e acidentada. Uma feição geomorfológica explícita é observada sendo caracterizada por uma *nappe* a sul de Araxá. Linhamentos geomorfológicos são observados na Direção NW cortando a alcalina: possivelmente essas estruturas são falhas geológicas, que podem ter contribuído para o alojamento da alcalina.

## **12.6 Redução dos dados Gravimétricos**

Para redução e processamento dos dados gravimétricos coletados em campo utilizou-se uma rotina na linguagem Fortran. Esta rotina foi desenvolvida no grupo GEOLIT, e disponibilizada para o Departamento de Geofísica do IAG/USP. Os dados das leituras gravimétricas em valores relativos de  $g$ , foram convertidos para os valores de aceleração de gravidade em unidades de mGal, através da tabela de calibração que acompanha cada gravímetro. Conseqüentemente se aplicam as correções de maré, que variam de acordo com o dia e o horário em que foi realizada a leitura das medidas (Longman,1959). Assim sendo é necessário conhecer a hora exata da medida gravimétrica. Estabelecida esta seqüência calcularam os valores das anomalias Ar-livre, Bouguer Simples e Bouguer completa (com correção topográfica).

Os mapas de anomalias foram gerados empregando-se o software SUFER 7.0 (Golden Software, 1999). Os dados gravimétricos foram interpolados em uma malha regular, empregando-se o Método da Omissão com amostragem de 500 metros. O fundamento estabelecido no método se baseia na passagem de uma superfície linearmente elástica e tênue através de cada valor observado, de forma que a superfície tenha a menor curvatura possível no espaço Euclidiano. A precisão do interpolador é de 10% da unidade de medida em mGal, estimando-se para os dados gravimétricos um erro de 0,1 mGal e para os dados altimétricos um erro de até 0,1 m (Rugenski, 2001).

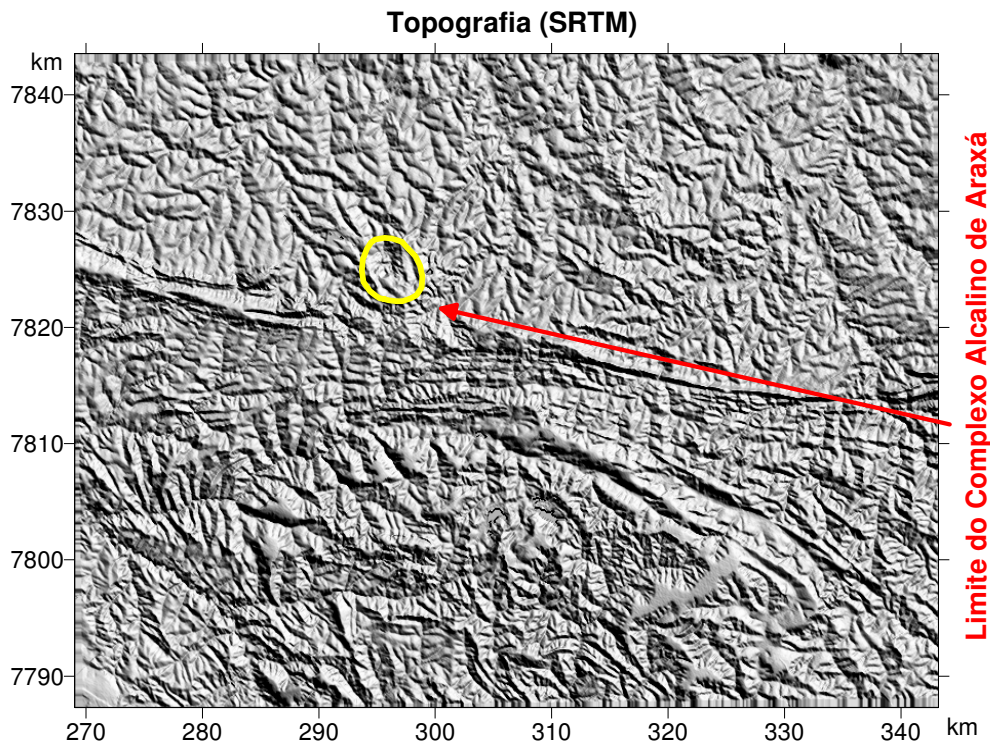


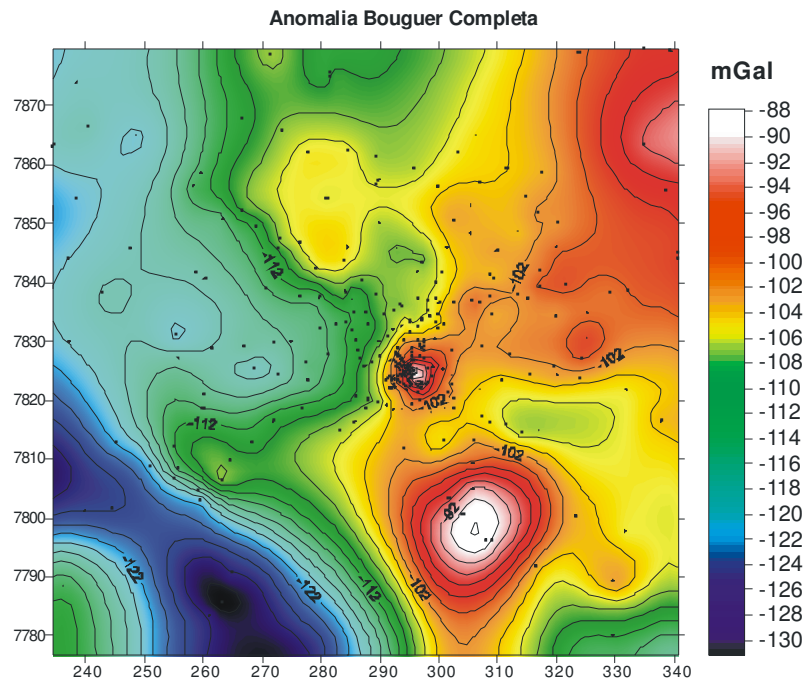
Figura 12.4. Mapa da topografia (SRTM). Em amarelo observa-se a posição da alcalina

O mapa de anomalia Bouguer completa é observado na Figura 12.5. O campo anômalo da alcalina apresenta formato circular concêntrico sobre o afloramento da alcalina, com valores anômalos de 86 mGal. O campo Bouguer indica que a alcalina possui densidade maior que a da rocha encaixante, sendo sua forma característica de estruturas como *necks* e *plugs*. Não são observadas anomalias internas ao corpo, sendo portanto indicativo de um corpo homogêneo. Portanto as litologias verificadas em superfície possuem pequena espessura, em comparação á rocha predominante. Para a delimitação e identificação de litologias internas á alcalina sugere-se a densificação das estações gravimétricas e a utilização de nivelamento geométrico para modelar as heterogeneidades do maciço alcalino.

A sobreposição dos dados gravimétricos com a topografia do SRTM indica que o alojamento está na borda de uma estrutura geológica reconhecível de característica regional (zona de cisalhamento sinistral Bocaina) e de lineamentos topográficos que sugerem estruturas como fraturas e falhas oriundas de cisalhamento, e que podem ter contribuído para o alojamento alcalino como estruturas de alívio.

O mapa residual Bouguer (Figura 12.7) foi obtido através do método da omissão (discutido no capítulo 3). As estações de medida são apresentadas através dos pontos na cor roxa. Os grandes comprimentos de onda do campo Bouguer indicam uma certa tendência na direção NE-EW, de 1 a 3 mGal, no entanto sobre o corpo, para valores superiores a 3 mGal, o campo é quase circular.

a)



b)

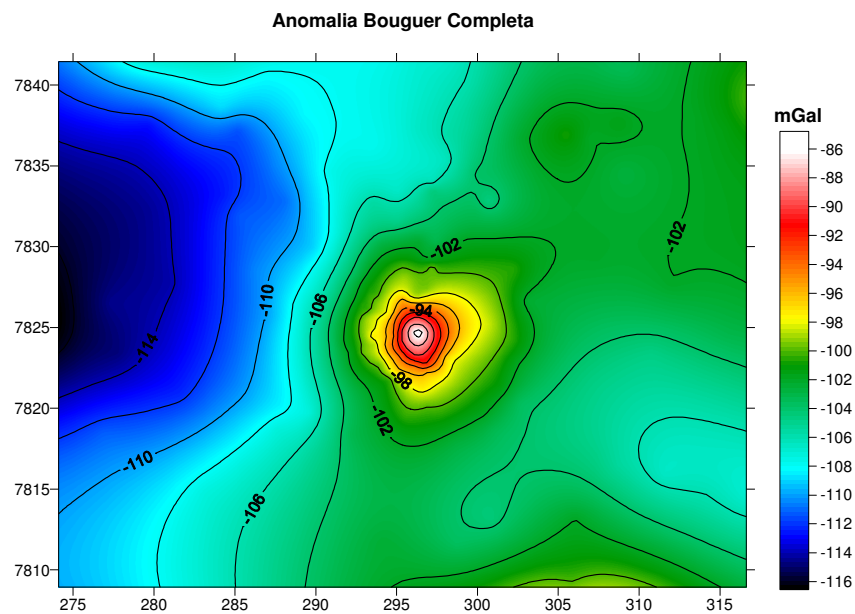


Figura 12.5. a) Anomalia Bouguer completa da alcalina de Araxá. b) campo anômalo da alcalina ampliado. Nota-se que em (b) a gradação de cores na escala foi mudado relativamente à (a), para melhor visualização do detalhe.

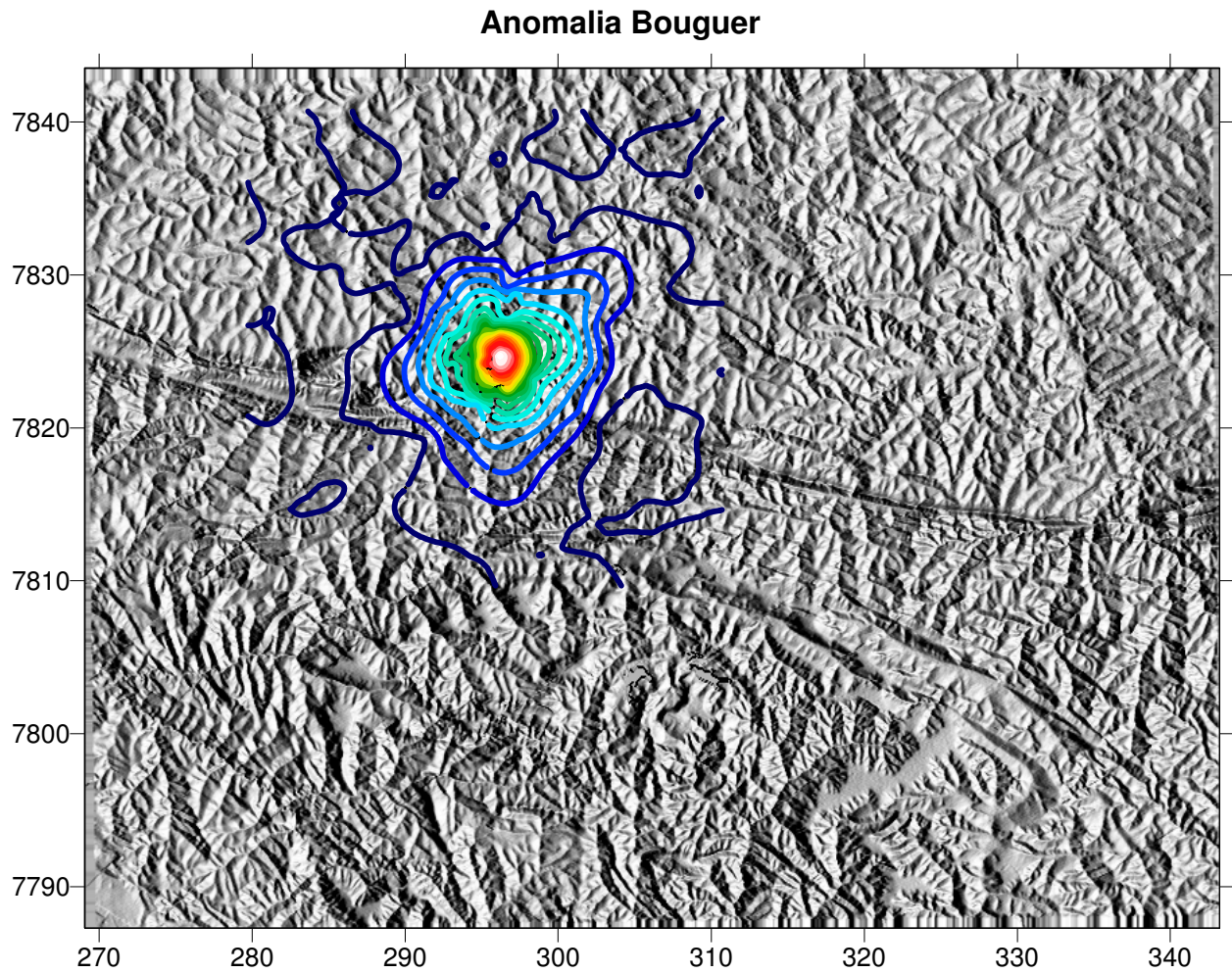


Figura 12.6. Anomalia Bouguer (isolinhas) sobreposto ao mapa topográfico SRTM (Nasa,2005).

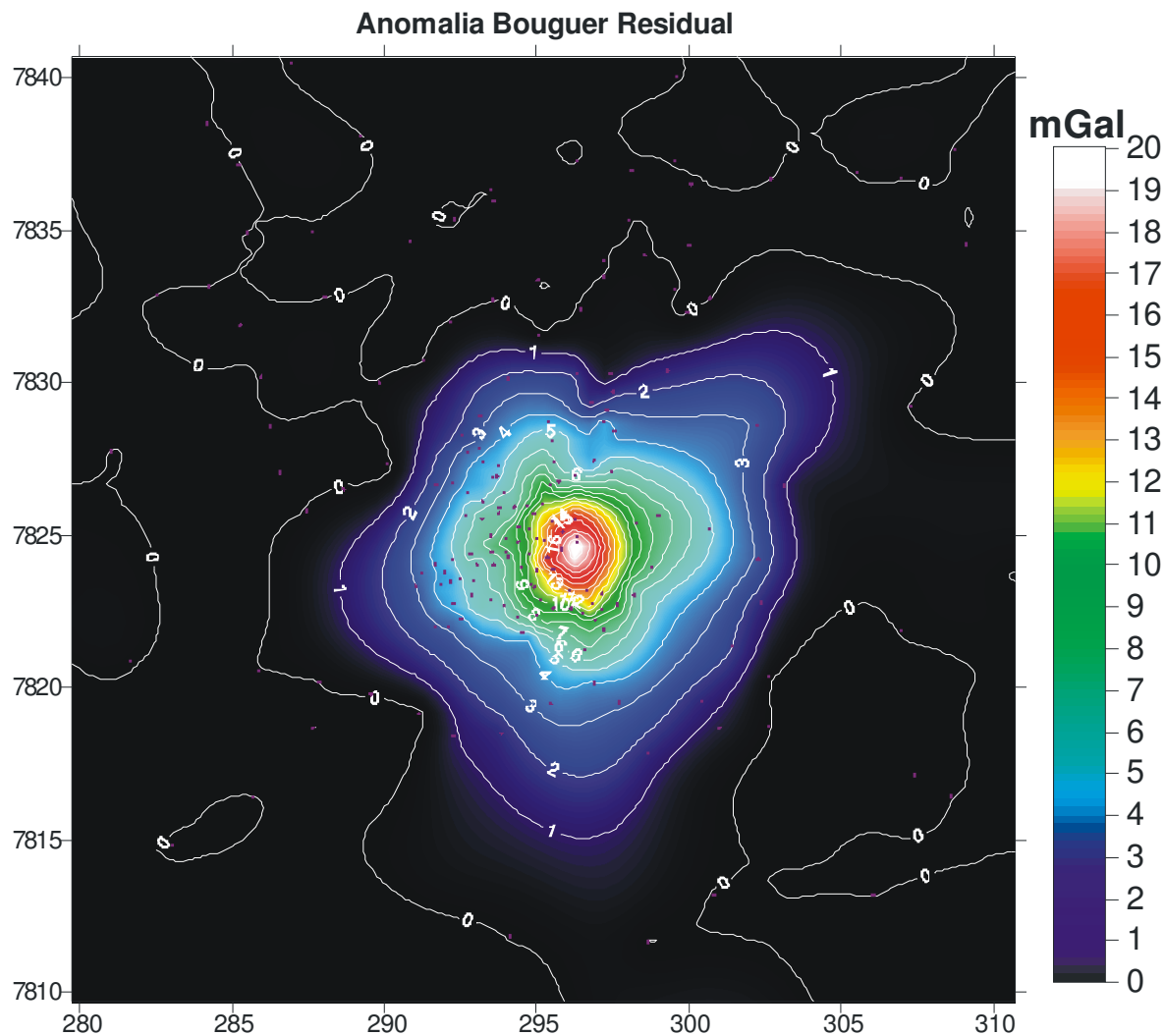


Figura 12.7. Mapa da anomalia Bouguer residual do maciço de Araxá obtido através do método de omissão de pontos.

### 12.7 Modelo Gravimétrico

O programa utilizado na modelagem 3D foi o IGMAS (Götze & Lahmeyer, 1988). O mapa anômalo Bouguer observado (à esquerda) e modelado (à direita) são visualizados na Figura 12.8. O modelo representa um corpo homogêneo, para o qual o campo anômalo sugere o formato de um corpo semelhante a um “*plug*” com raiz, ou até mesmo de um cone (*pipe*).

A máxima amplitude, da ordem de 18 mGal com polaridade positiva, é indicativa de uma densidade superior à do quartzito (grupo Araxá), refletindo a existência de uma rocha máfica–ultramáfica. O contraste de densidade modelado é da ordem de  $0,63\text{g/cm}^3$  entre a rocha encaixante quartzito ( $2,67\text{ g/cm}^3$ ) e a própria alcalina ( $3,3\text{ g/cm}^3$ ). Como as densidades usadas na modelagem são valores limites tanto para a alcalina (densidade de piroxenito) como da encaixante (densidade média da crosta continental superior) esse modelo é representativo da sua forma.

A análise estatística (Figura 12.9) mostra que o modelo é representativo de 99% dos dados observados sobre o complexo alcalino, onde o desvio padrão médio, obtido através dos resíduos, ficou em torno de 0,23 mGal. Apenas 2% dos dados apresentam resíduos superiores a 2 mGal sendo o seu valor médio residual da ordem de  $-0,5\text{ mGal}$ . Um outro parâmetro de interesse é que os resíduos tendem a média zero sugerindo um modelo representativo e simétrico de ajuste com cancelamento sistemático dos erros na modelagem.



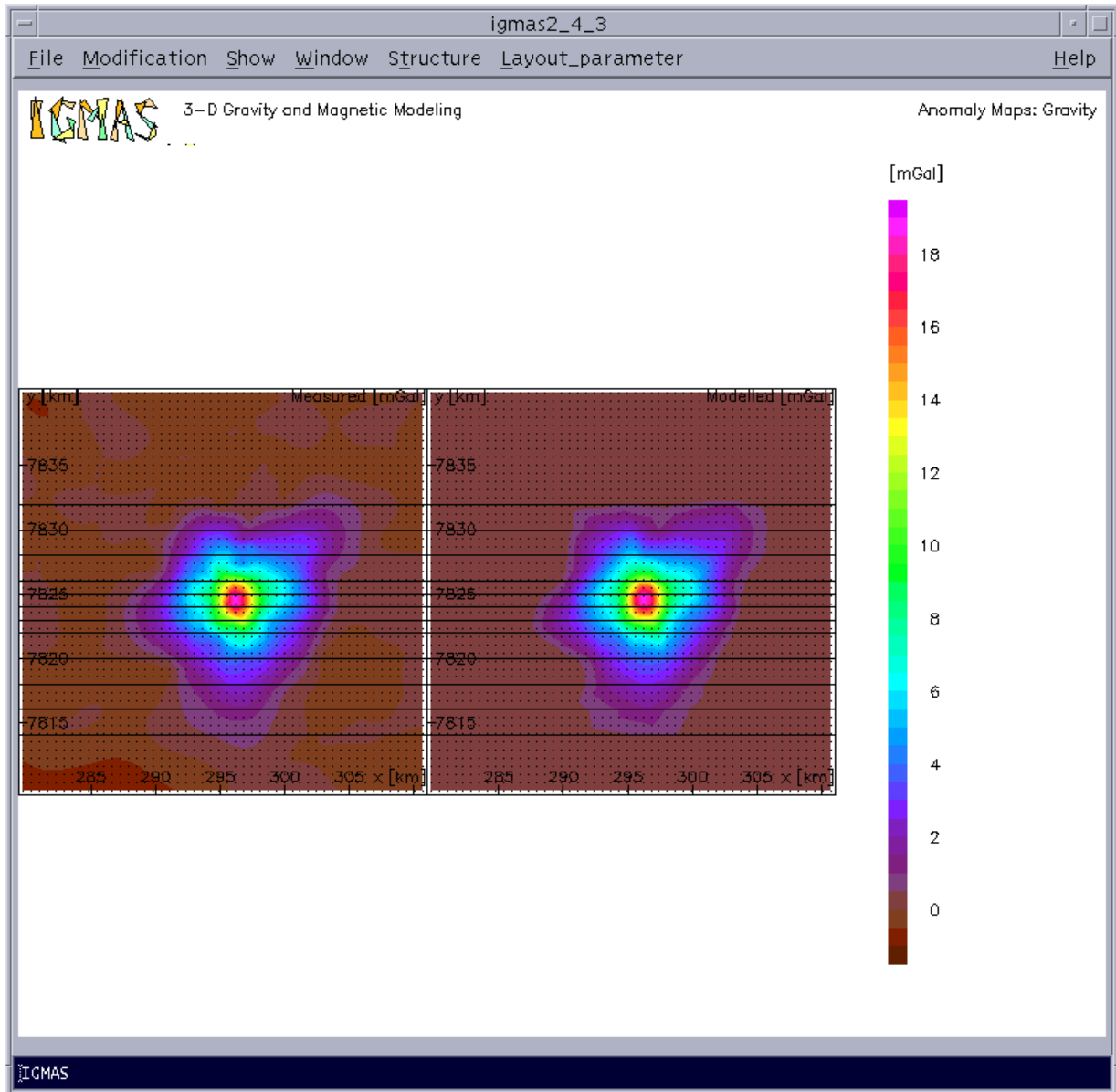


Figura 12.8. Anomalia Bouguer observada (à esquerda) e modelada (à direita). O campo foi obtido através do modelo 3D de formato irregular.

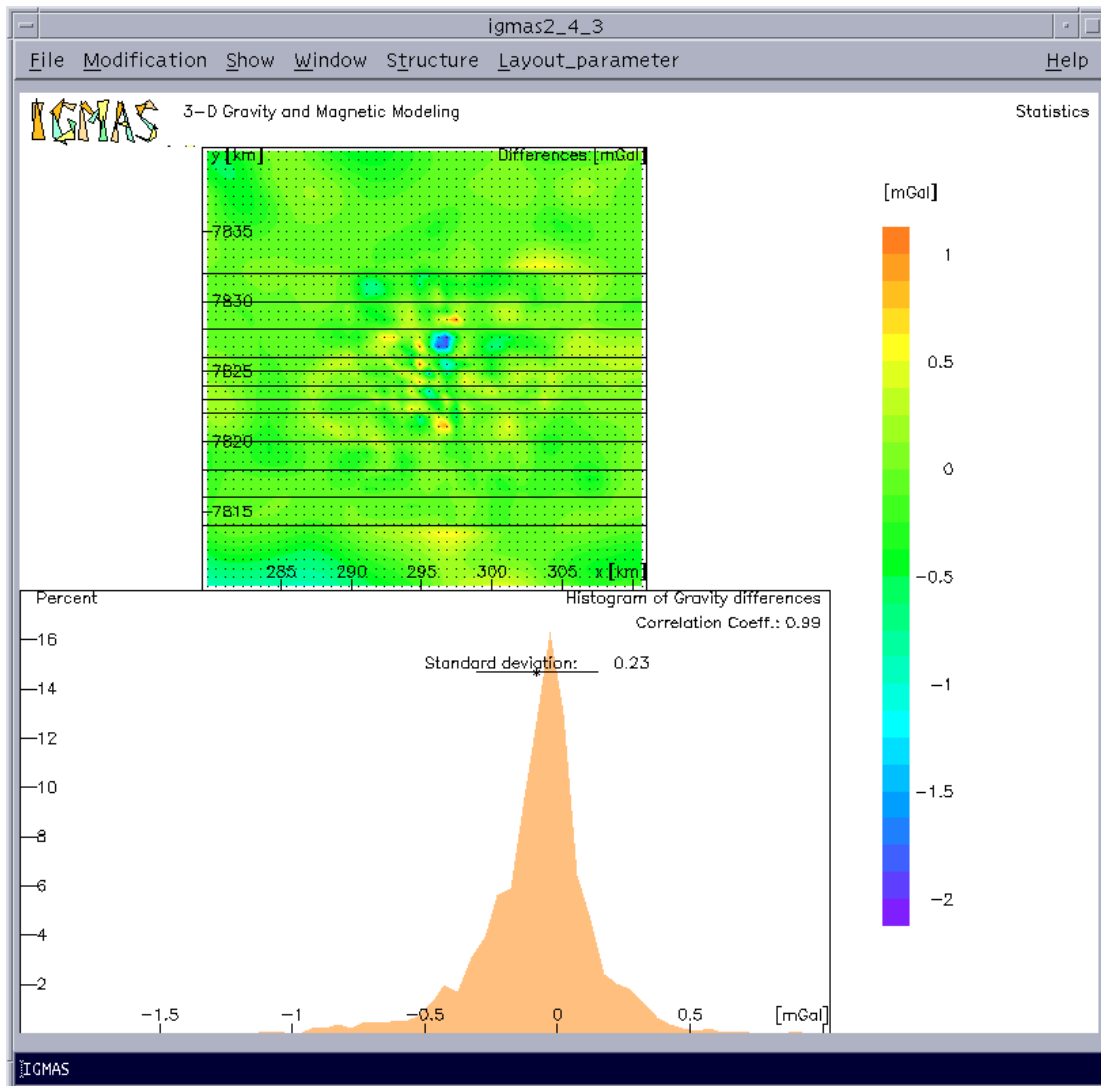


Figura 12.9 - Análise estatística do modelo 3D de Araxá.

A densidade de massa superficial (Figura 12.10) indica uma tendência de acúmulo de massa na direção NE, indicado pela seta contínua. Um possível alinhamento na direção 10°NW, também é visível, sendo interpretado como uma possível falha geológica por onde o material em parte percolou, talvez devido ao deslocamento da massa em planta. Esse alinhamento possui reflexo na topografia (Figura 12.4)

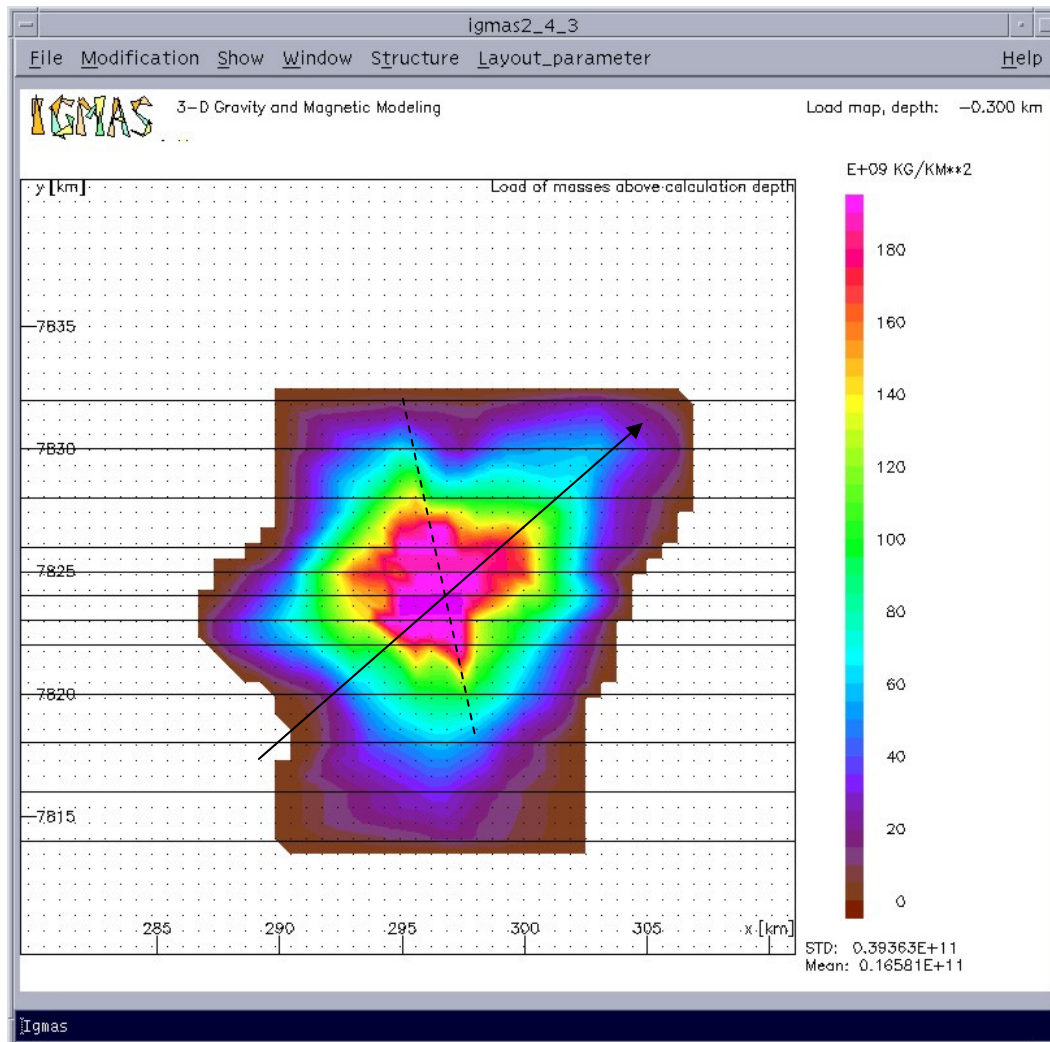


Figura 12.10. Mapa da distribuição de massa por unidade de área (densidade de massa superficial). A linha tracejada indica uma possível falha que coincide com um alinhamento topográfico. A seta indica uma tendência de maior concentração de massa, que também coincide com alinhamento topográfico (Figura 12.4).

O mapa de isópacas do modelo 3D de Araxá é verificado na Figura 12.11. A Máxima profundidade esta localizada na porção central do corpo alcalino, sendo sua profundidade de apenas 2.2 km. O modelo de uma maneira grosseira é equivalente ao de um cone, sendo sua máxima profundidade centrada no corpo.

Algumas tendências verificadas no mapa de densidade de massa superficial (Figura 12.10) são também observadas aqui.

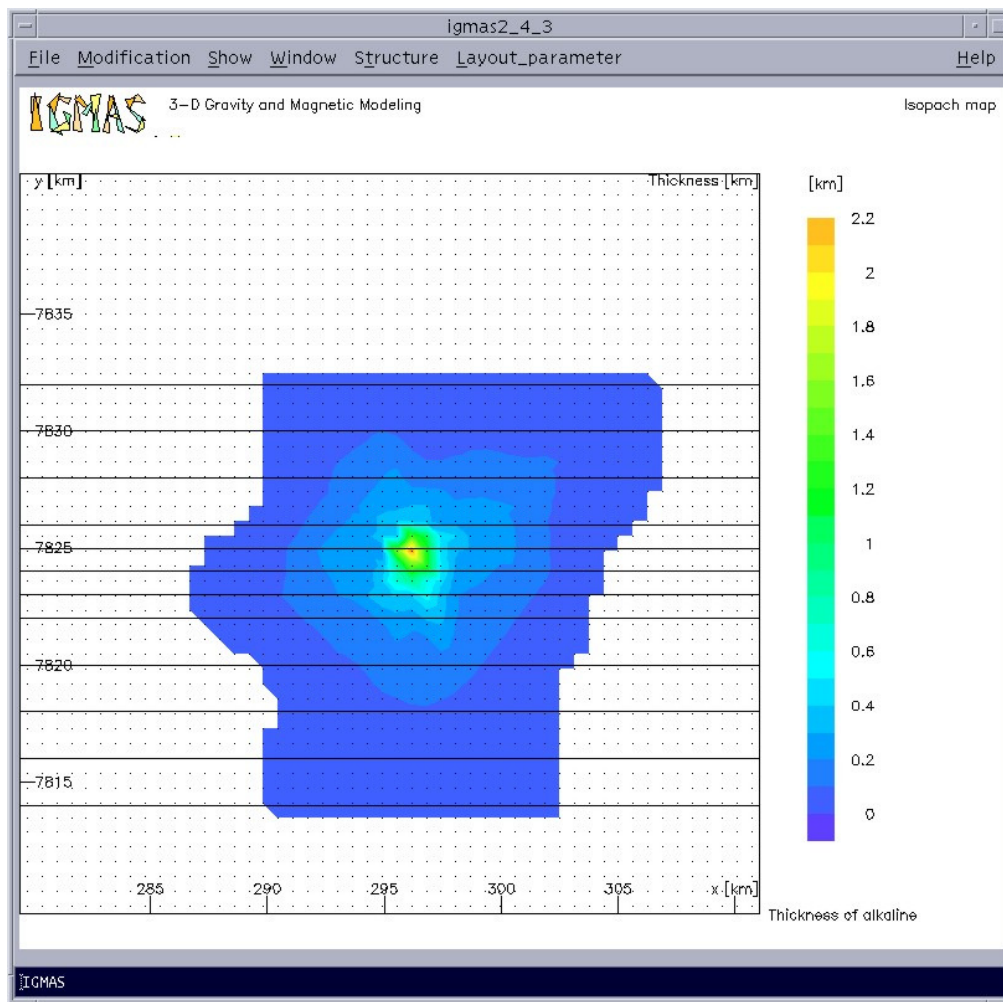


Figura 12.11. Mapa de isópacas da profundidade do modelo.

A imagem tridimensional de Araxá (Figura 12.12) é formada por seções de maior área, próximo da superfície com tendência de afinamento, com o aumento da profundidade; esse comportamento é observado também em perfil na Figura 12.13. O volume estimado foi de  $0,29680 \times 10^2 \text{ km}^3$  e massa de 18.699 Mton. Para uma densidade superior a  $3,3 \text{ g/cm}^3$  para a alcalina, o ajuste resulta

num corpo com profundidade de 2,2 km. A densidade de  $3,3 \text{ g/cm}^3$  é o valor limite para as rochas crustais já que é equivalente à densidade mantélica, ou seja de um piroxentito.

A imagem final do modelo 3D é verificada na Figura 12.12. Na imagem é visível seu formato regular do topo até a base, sendo composto por um único duto (“raiz”). O modelo sugere que o alojamento pode ter sido através de alojamento passivo, ou seja, através de esforços de tração. Uma característica interessante esta na sua profundidade, de aproximadamente 2 km. Essa profundidade pode ser que não seja representativa podendo ter valores maiores, nesse caso necessariamente a densidade do corpo alcalino deverá ser inferior a  $3,3 \text{ g/cm}^3$ . Caso se confirme essa profundidade existe a possibilidade do corpo ter se formado sobre regime de esforços de compressão, como se tivesse sido espremido pela crosta.

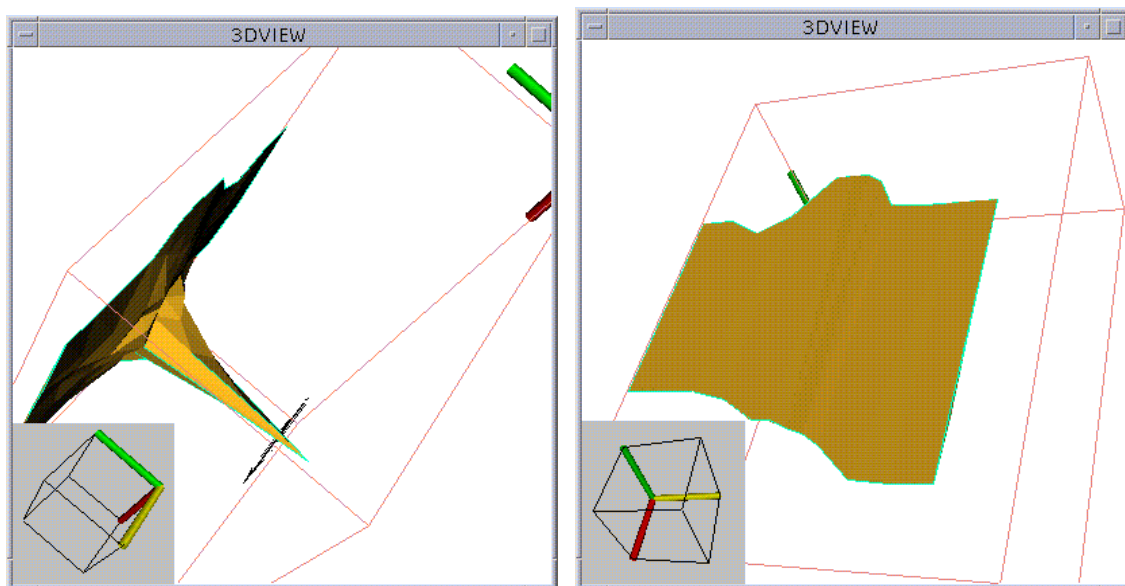


Figura 12.12 – Imagens tridimensional da Alcalina de Araxá.

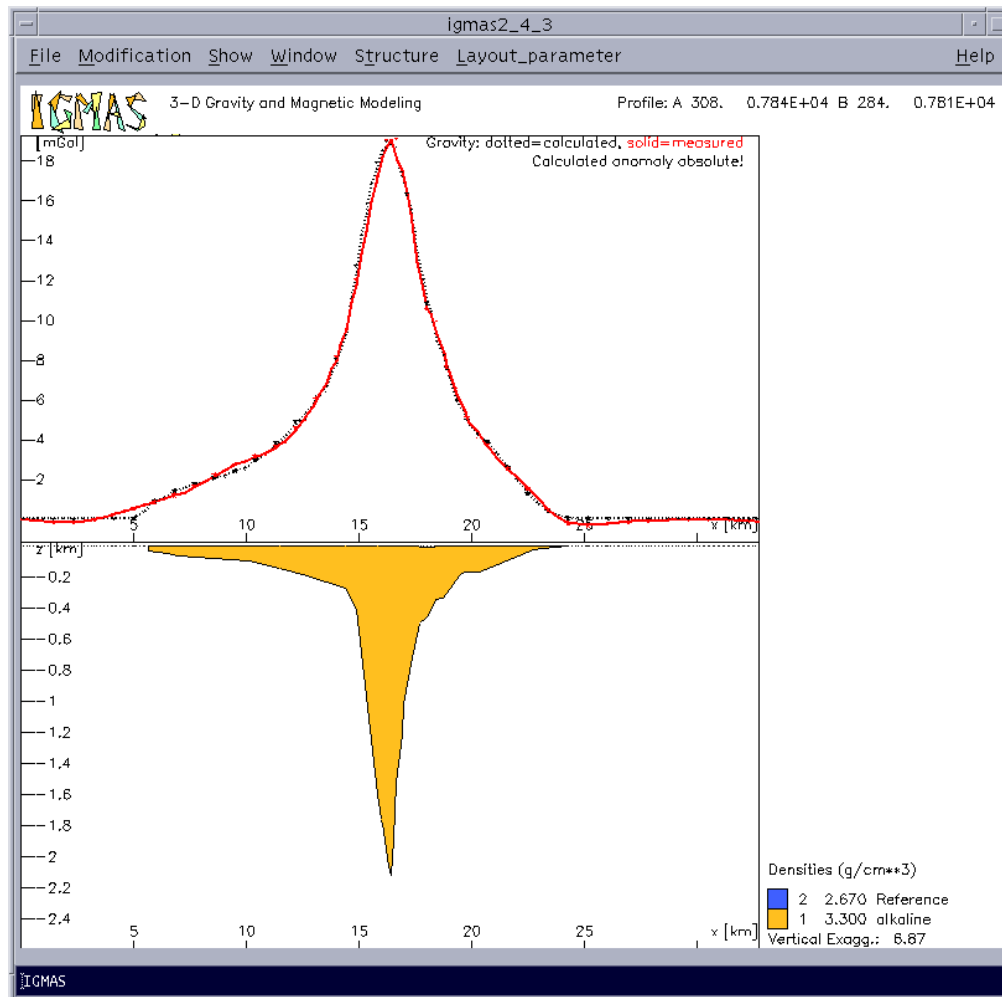


Figura 12.13 – Mapa do modelo gravimétrico 3D.

## 12.8 Modelo Magnético e Gravimétrico

A modelagem usando simultaneamente dados gravimétricos e magnéticos resulta num modelo de maior confiabilidade, já que as duas propriedades são ajustadas em combinação.

Os critérios para a modelagem 2.5D do perfil magnético e gravimétrico empregados no Gravmag (Pedley et al., 1993) obedeceram a critérios dados pelo comportamento dessas anomalias. O perfil foi escolhido de forma a passar pelos máximos e mínimos da anomalia magnética, na mesma direção do vetor

resultante de magnetização do corpo. O perfil magnético seguiu orientação norte sul, aproximadamente  $10^{\circ}$  NW (Figura 12.14). Aproximadamente coincidente com o alinhamento observado no mapa de densidade superficial de massa (Figura 12.10), representativo de uma possível falha geológica.

Na Figura 12.14 temos o mapa de anomalia Bourguer residual sobreposto ao mapa de anomalia magnética (escala de cores). Na mesma figura, observam-se os comportamentos dos campos magnético e gravimétrico. A gravimetria indica que a alcalina está localizada na interface dos pólos magnético positivo e negativo. Além dessa característica verifica-se que o eixo de magnetização da anomalia magnética não coincide com a maior concentração de massa da alcalina. Uma possibilidade para explicar esse fato é a ocorrência de um evento térmico, que aqueceu as laterais da alcalina diminuindo a magnetização do corpo e deslocando o eixo de magnetização do eixo do centro de massa. Outra possibilidade é a presença de porções mineralizadas em localidades da alcalina distintas do eixo de centro de massa.

A modelagem dos dados magnéticos e gravimétricos usando interface GRAVMAG 2D, Figura 12.15, apresenta as mesmas feições do modelamento 3D, com formato semelhante de um cone. O modelo foi condicionado há parâmetros físicos referentes ao piroxenito. Com parâmetros de susceptibilidade, inclinação e declinação do campo magnético e densidade volumétrica obteve-se o modelo observado. A máxima profundidade do modelo 2D não se ajusta com o do modelo 3D, pois o perfil não passa pelo valor de máximo anômalo Bouguer.

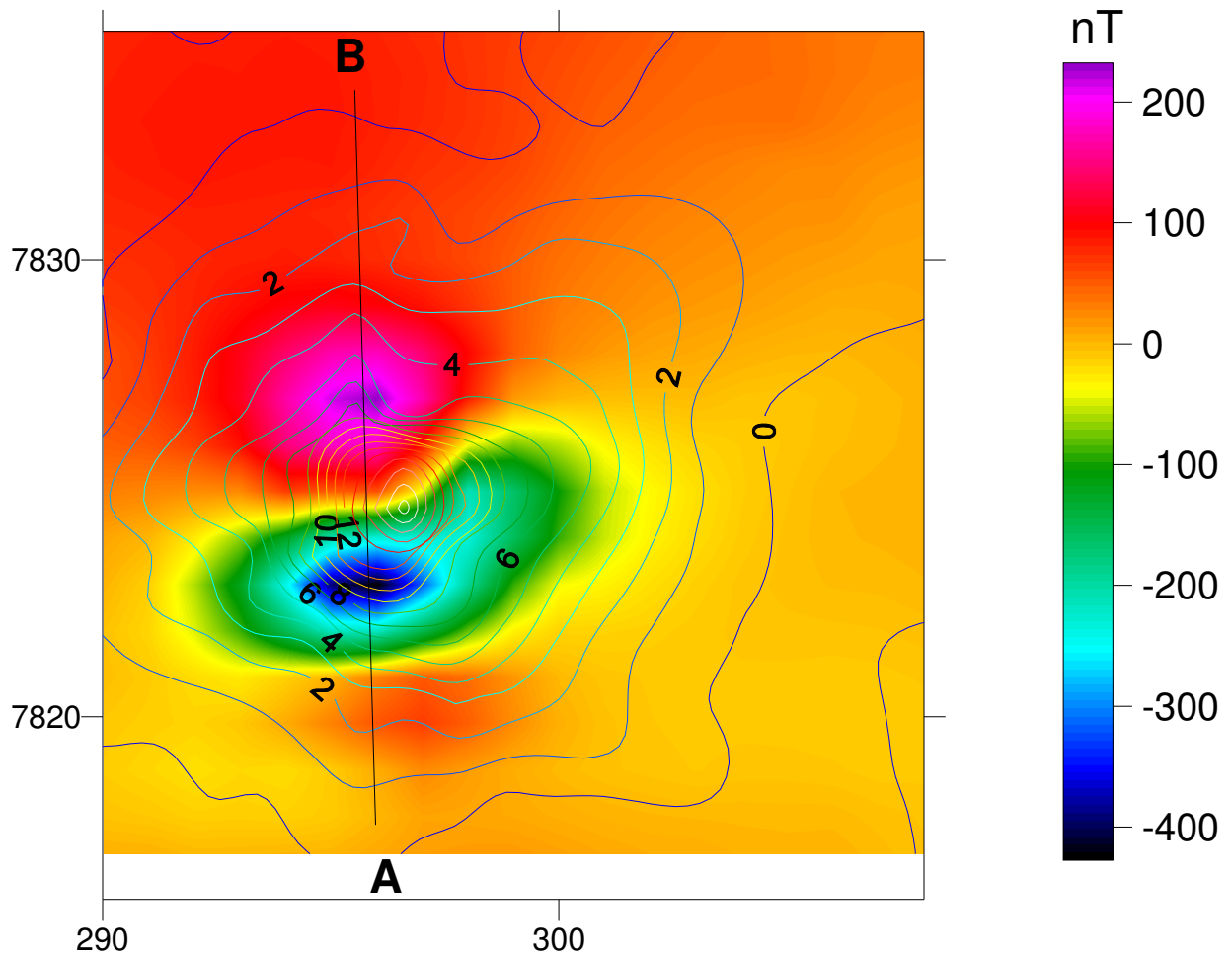


Figura 12.14 - Anômalia Bouguer residual com isolinhas e a anomalia magnética em escala de cores. O perfil AB utilizado no modelo.



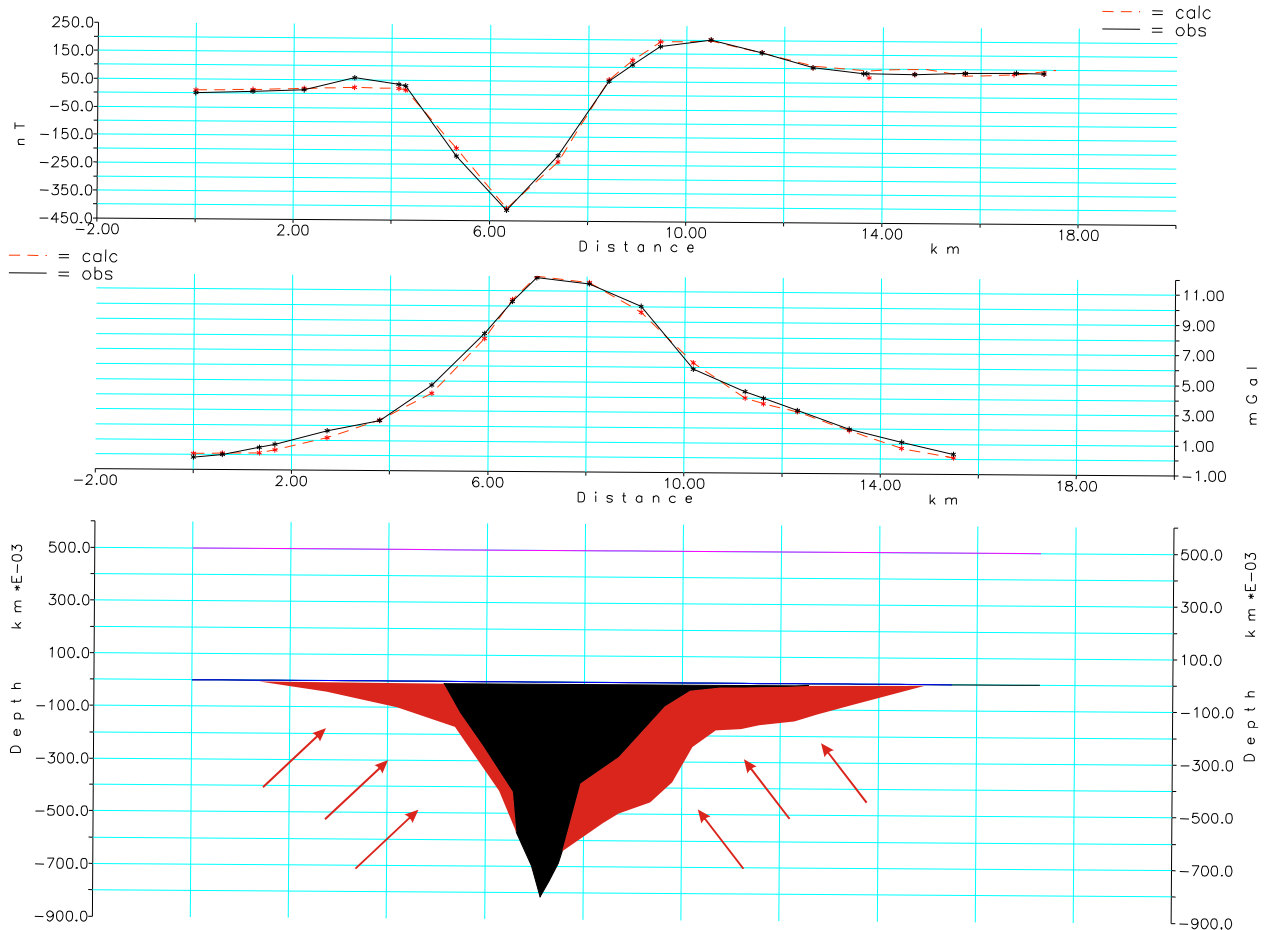


Figura 12.15 - Modelo da alcalina de araxá obtido no GRAVMAG. A estrutura de cor vermelha representa a magnetização alterada pelo fluxo geotérmico ou pulso magmático empobrecido em ferromagnéticos, tendo a mesma densidade ( $3,3 \text{ g/cm}^3$ ).

Para a modelagem dos dados magnéticos fez-se uso da declinação de  $-16^\circ$  e inclinação de  $-13^\circ$ , e a inclinação remanescente foi de  $52^\circ$ . A declinação e

inclinação constavam na carta de anomalia magnética do levantamento feito pela CPRM (Projeto Brasil – Alemanha, 1972). O valor de susceptibilidade média para o piroxenito, na cor preta, foi de 0.125, no SI, (Telford et al., 1998). O “piroxenito” representado na cor vermelha possui susceptibilidade próxima de zero. Tanto o piroxenito magnetizado como o desmagnetizado possuem densidade de 3,3 g/cm<sup>3</sup>.

Uma possível explicação para a desmagnetização da porção externa da alcalina é a ocorrência de um evento térmico com temperaturas equivalentes à de Curie, resultando na desorientação dos “spins” magnéticos. Atualmente ainda existe uma anomalia térmica presente no local, sendo observada pela tomografia sísmica (Figura 12.16). O eixo de centro de massa da alcalina está deslocado do eixo de magnetização, um dos possíveis fatores responsáveis por essa ocorrência, além do aquecimento, são deformações da anomalia devido à localização da anomalia quanto à latitude, ou mesmo deformações devido a incertezas na aquisição dos dados aéreos.

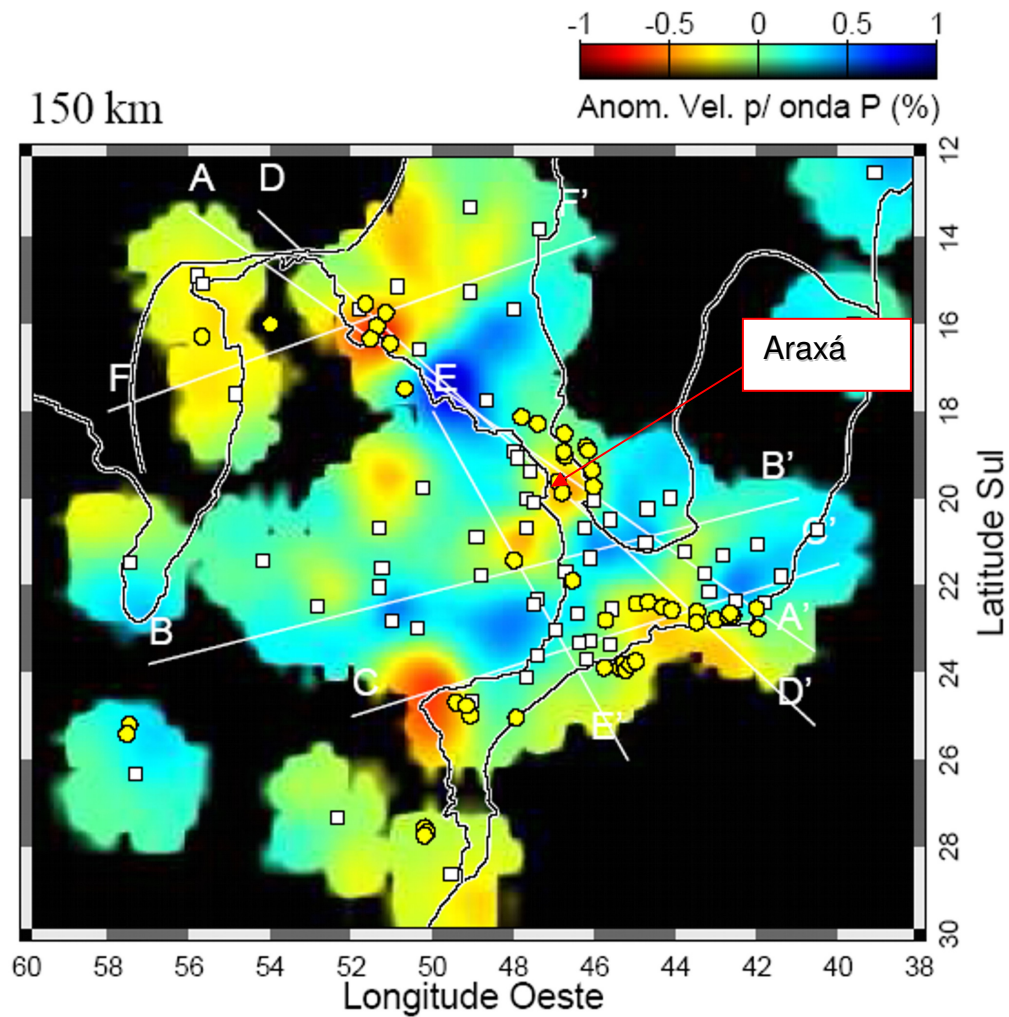


Figura 12.16. Tomografia sísmica (Rocha, 2003). A cor azul indica regiões frias, enquanto que a cor vermelha regiões quentes. Os círculos na cor amarela indicam a posição das alcalinas. Os quadrados são as estações sísmicas.

## **12.8. Conclusão**

O trabalho apresenta os resultados do levantamento gravimétrico realizado no Complexo Alcalino de Araxá e interpretações simultâneas sobre dados gravimétricos e magnéticos.

Os dados gravimétricos para o modelo reduzidos sugerem uma anomalia “elipsoidal” sobre o complexo, tendo a sua maior intensidade gravimétrica condicionada a região de “raiz” do corpo (a porção mais profunda da rocha), com estimativas de 2 quilômetros de profundidade a partir de modelagem 3D (IGMAS). O campo gravitacional sugere uma rocha composta de um único tipo litológico pelo menos no que se refere à densidade, sendo que outras fácies litológicas, e associações têm profundidades inferiores a 200 metros (modelo 2D).

O tipo litológico existente na sua maior porção sugere a do piroxenito ou equivalente como teralitos e essexitos, como também, combinações e associações de densidades equivalentes. Mariano (1975), através de dados de sondagem sugeriu que o carbonatito metassomático fosse derivado de um provável piroxenito. Os dados gravimétricos indicam a possível presença de rocha do tipo piroxenito, em comparação aos demais campos gravitacionais e magnéticos observados nessa Tese, sendo descritos ao longo dos capítulos.

Para dados magnéticos reduzidos e modelado no GRAVMAG a alcalina de Araxá sugere que o centro da anomalia magnética está deslocado do centro da anomalia gravimétrica, esta informação pode ser verificada através dos modelos obtidos e da própria observação dos campos gravimétricos e magnéticos (Figura

12.14). Através do modelo 2D conclui-se que o corpo apresenta uma forte susceptibilidade magnética remanescente, que resulta numa inclinação de 52°. A porção externa do corpo se encontra desmagnetizada. Uma susceptibilidade da ordem de 0.125 (Telford et al., 1990) é esperada.

A desmagnetização da porção externa da alcalina pode ser devido a eventos térmicos que desorientaram os spins de magnetização da rocha, ou por um evento de magma piroxenítico empobrecido em ferrimagnéticos, como ocorre em Juquiá.

O modelo indica um formato regular, com afinamento das secções transversas do topo até a base, sendo composto por um único duto (“raiz”) e semelhante a um cone. A máxima profundidade de 2.2 km para uma densidade de 3,3 g/cm<sup>3</sup> é ajustada. A densidade de 3,3 g/cm<sup>3</sup> é o valor limite para as rochas crustais já que é equivalente à densidade mantélica, ou seja de um piroxenito. O volume estimado pelo modelo 3D foi de 0,29680x10<sup>2</sup> km<sup>3</sup> e massa de 18 699 Mton.

No modelo 3D a raiz do corpo alcalino coincide com o centro da anomalia gravimétrica; ao contrario do modelo magnético GRAVMAG, que não coincidiu com a raiz do corpo alcalino. Optou-se para a confecção do perfil AB (Figura 12.15), a passagem do perfil sobre o vetor resultante de magnetização, devido ao centro magnético do corpo estar deslocado do eixo de centro de massa. Dessa forma podemos concluir que os centros das anomalias não são comuns, indicando uma distribuição irregular de minerais ferrimagnéticos, que possuem

como característica alta densidade e são responsáveis pela forte magnetização do corpo, serem independente da distribuição de massa.

## **12.9 Referencia**

ALMEIDA, F. F. M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/ DGM. 36p. (Boletim 241).

ALMEIDA, F. R. M., 1983. Relações tectônicas das Rochas Alcalinas Mesozóicas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana. Revista Brasileira de Geociências, vol.13 p.139-158.

BARBOSA, O. 1963. Geologia econômica e aplicada a uma parte do Planalto Central Brasileiro. DNPM/PROSPEC.

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. DNPM/DFPM. p.140. (Boletim 136).

BRANCO, J. J. R.; COSTA, M. T. 1961. Roteiro para a excursão Belo Horizonte - Brasília. CONGR. BRAS. GEOL. 14, Belo Horizonte, 1961. Roteiro das excursões, p. 6-10.

BRIGGS, I. C. 1994, Machine contouring Using Minimum Curvature, Geophysics, v. 39, nº.1, p. 39-48.

COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO –  
Complexos carbonatíticos do Brasil: geologia. São Paulo, CBMM, Departamento  
de geologia, 1984.44p.

CPRM, 1972. Levantamento aeromagnetométrico realizado em 1972  
pela Companhia Brasileira de Geofísica (CPRM). Projeto aero-geofísico do  
Noroeste Mineiro, Convênio DNPM/PRAKLA SEISMOS.

CROUGH, 1983. Rifts and Swells: Geophysical Constraints on  
Casualty. Earth and Planetary Science Letters. 94v., 23 – 27p

DAVINO, A., 1965. Estudos Geológicos e geofísicos da serra de  
Araçoiaba e arredores, estado de São Paulo. Tese de doutorado – IAG/USP.

DUARTE, O. O. 1997. Dicionários Enciclopédicos de Geofísica e  
Geologia. SBGF.Petrobrás

DNPM/PRAKLA SEISMOS, 1972. Convênio Geofísico Brasil-Alemanha  
– Mapa de isoanômalas intensidade magnética total.

FILHO, A. I.; LIMA, P. R. A. S.; SOUZA, O. M. 1978. Aspecto da  
Geologia do Complexo Carbonatítico do Barreiro , Araxá/MG – Brasil, CBMM

FERNANDES, C. E. M., 1984. Fundamentos de prospecção Geofísica.  
Rio de Janeiro: Interciências

FIGUEROLA, J. C., Tratado de Geofísica Aplicada – Madrid, 1974.

GEMAEL, C., 1999. Introdução a Geodésia Física –Curitiba: Ed. da  
UFPR.

GÖTZE, H. J. and LAHMEYER, B., 1988 Application of three-dimensional interactive 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

HALL, A., 2001. Igneous Petrology – Sec. Editions

SEER, H. J., et al, 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na faixa de dobramentos Brasília – Revista Brasileira de Geociências.

KEARY, P., BROOKS., 1984. An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Scientific Publications, 296 p.

LADEIRA, E. A. BRAUN, O. P. G., CARDOSO, R & HASUI, Y. 1971. O Cretáceo e Minas Gerais, Anais XXV Conga. Brás. Gelo. 1:15-31 São Paulo.

LONGMAN, I. M., 1959. Formulas for Computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun. Journal of Geophysics Research 64 (1959) 2351 – 2355.

MARIANO, A. N.; ITO, J.; RING, P. J. Petrographic Report on selective Drill Core-Araxá, Minas Gerais, Brasil. s.n.t. 1975.40 p.

MORGAN & BACKER, 1983. Introduction – processes of Continental Rifting. Tectonophysics, 94v., 1 – 10p



MURTHY, I. V. R. & SWAMY, K. V., 1995. Gravity anomaly on a vertical cylinder on polygonal cross-section and their inversion. *Computer & Geosciences* vol.22, nº06, pp625-630,1996. Copyright & 1996 Elsevier Science Ltd.

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

Pedley R.O., Busby J.P, Dabek Z.K. 1993. Interactive 2.5 D Gravity & Magnetic modelling- GRAVMAG user manual, England, British Geological Survey, (NERC Copyright), 73p. (Regional Geophysical Series, Technical Report WK/93/26/R)

ROCHA, M.P., 2003. Ampliação da tomografia sísmica no manto superior no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil com ondas P. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP. Dissertação de mestrado. 71 p.

RODRIGUES, C. S., LIMA, P. R. A. S., 1984. Complexos Carbonatíticos do Brasil. *Pub. Cia. Brás. Demeter e Min. (CBMM)*, 2-17.

ROSALES, M. J. T., 1999. Caracterização geofísica do complexo intrusivo ultrabásico-alcalino de Jacupiranga, (SP). Dissertação de mestrado. IAG/USP

RUGENSKI, A, 2000. Investigação geofísica da Alcalina de Pariqueira Açu com ênfase em gravimetria. 58p. Dissertação de Mestrado apresentação ao Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo.

RUGENSKI, A., MANTOVANI, M. S. M., SHUKOWSKY, W., 2001.

Modelo Gravimétrico do Complexo Alcalino de Pariquera Açú (SP). Revista Brasileira de Geociências, 31(3): 337-346.).

RUGENSKI, A., 2006. Tese de Doutorado – Inédito, IAG/USP.

SÁ, N. C., 1996. Introdução à teoria do potencial Forma e dimensões da Terra. O campo da Terra. Medições gravimétricas, IAG/USP.

SEER, H. J., 1999, Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma de Araxá, Minas Gerais – Tese n° 28, IGC/UNB - Julho/1999

SEER, H. J., et al, 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na faixa de dobramentos Brasília – Revista Brasileira de Geociências.

SHUKOWSKY, W., VLACH, S. R. F., NOVAES, K., 1997. A Gravity signature of the Morungaba granitoids. In 5th International Congress of the Brazilian geophysical Society, 1997. São Paulo. Expanded abstracts. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1997. V.2, p.730-731.

SILVA. A. B.; MARCHETTO. M.; SOUZA, O. M., Geologia do Complexo Araxá (Barreiro) Carbonatite. S.n.t. 17 p., 1979.

SLAVEC, G. B. & MANTOVANI, M. S. M., 2000. Resultados gravimétrico obtidos na região do Complexo alcalino de juquiá –SP. Trabalho de Graduação II. IAG/USP.

SLAVEC, G. B., MANTOVANI, M. S. M., SHUKOWSKY, W., 2001.

Contribuição ao estudo do Complexo Alcalino Carbonatítico de Juquiá utilizando o método gravimétrico. Revista Brasileira de Geociências 31 (2): 203-210.),

SLAVEC, G. B. - Estudo gravimétrico do Maciço Alcalino de Poços de Caldas – MG/SP – IAG/USP – São Paulo 2002.

SLAVEC, G. B., MANTOVANI, M. S. M., SHUKOWSKY, W., 2004.

Estudo gravimétrico do maciço alcalino de Poços de Caldas. Rev. Bras. Geoc., 34(2):275-280);

SORENSEN, H., 1974. The alkaline rocks. A review. Fortschr. Miner., 64(1):63-86

SORENSEN, H., 1974. The alkaline rocks. John wiley & Sons, 622pp.

SUFER VERSION 7.00 , 1999. surface Mapping System. Copyright c 1993-94. Golden Software, Inc.

TRAVERSA, G. et al. 2000, Petrology and mineral chemical of carbonatites and mica-rich rocks from the Araxá complex (Alto Paranaíba Province, Brasil) An.Acad.Bras. Ciências.

Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A, 1998. Applied Geophysics, Cambridge university press.