Depósitos de Ferro e Cobre no Complexo Arapiraca: Análise Integrada de dados Gravimétricos e Magnéticos

Mariana R. C. Sampaio, UFBA, Alanna Costa Dutra, UFBA, Onofre H. D. J. das Flores, UFBA/UniLúrio

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no X Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do processamento e interpretação de dados aeromagnéticos e gravimétricos no Complexo Arapiraca, Alagoas, Brasil, com o intuito de promover a caracterização geofísica regional da área de estudo e seus principais depósitos de ferro e cobre conhecidos. Através de transformações matemáticas aplicadas ao dado magnético e gravimétrico foi possível definir uma seção espacial de interesse e executar a modelagem tridimensional de densidade, utilizando-se de informações petrofísicas como restrição para o procedimento. A partir dos modelos gerados, informações acerca de profundidade, extensões e contrastes de densidade foram extraídas e interpretadas de acordo com a geologia local.

Introdução

A exploração mineral é fundamental para o crescimento econômico e desenvolvimento sustentável de um país, atendendo à crescente demanda por recursos naturais essenciais em diversos setores, avanços tecnológicos e geração de empregos. Este estudo se concentra na exploração de ferro e cobre na província Borborema Meridional, especificamente no Complexo Arapiraca, situado no estado de Alagoas. Embora haja uma vasta quantidade de dados geofísicos disponíveis na região, as pesquisas focadas em prospecção econômica de novos depósitos minerais são limitadas (Gusmão de Oliveira et al., 2023). A área do estudo, observada na figura 1, está inserida no contexto geotectônico da Província Borborema Meridional, apresenta feições marcadas por complexos processos orogênicos do final do Neoproterozoico (0,541 Ga). Situada no Domínio Rio Coruripe, o Complexo Arapiraca possui depósitos de Ferro Bandado (RC1) e magmático (RC3), além de Cobre, Ferro e Ouro (RC3) (Mendes e Silva, 2017).

As técnicas de exploração geofísica são cruciais para localizar e caracterizar depósitos minerais, revelando estruturas geológicas e anomalias favoráveis ao desenvolvimento de um alvo mineral. O trabalho de Mota et al. (2013), por exemplo, utilizou dados geofísicos regionais para identificar áreas menores de interesse e realizar estudos magnéticos e eletromagnéticos de detalhe, resultando na descoberta de um novo depósito de Ni-Cu. Em Pereira et al. (2019) foram empregados dados magnetométricos e radiométricos para investigar ocorrências de ouro, associando altos relevos magnéticos e enriquecimentos de potássio a mineralizações auríferas. Mantovani (2008) analisou dados gravimétricos, modelando profundidade e volume de um corpo vulcânico potencialmente mineralizado na região de Itapororoca.

Além de artigos científicos, vários informes e relatórios sobre recursos minerais e geofísica foram criados para promover a pesquisa mineral na região, como o Atlas Aerogeofísico do estado de Alagoas e o Relatório de Geologia e Recursos Minerais da Folha Arapiraca. Publicações adicionais incluem cartas de anomalias geofísicas e informes de geofísica aplicada, integrando informações geoquímicas, embora sem modelagens tridimensionais de densidade na área de estudo.

Neste estudo, foram utilizados dados magnetométricos e gravimétricos disponíveis, aplicando análises, processamentos e transformações matemáticas, como a amplitude do sinal analítico do dado magnético (ASA), para aprimorar as interpretações. A partir da definição de determinados alvos de interesse, realizou-se a modelagem tridimensional da distribuição de densidade em subsuperfície. A análise e interpretação dos dados geofísicos visaram delinear zonas-alvo e refinar a compreensão da geologia de subsuperfície, indicando áreas com alto potencial de mineralização de ferro e cobre.

Metodologia

O fluxo de trabalho do projeto concentrou-se inicialmente no agrupamento e processamento dos dados gravimétricos e magnéticos disponíveis na área, além de informações petrofísicas de amostras coletadas na região. Ademais, modelos de densidade tridimensional em subsuperfície foram construídos usando técnicas de inversão reconhecidas.

O acesso aos dados gravimétricos terrestres e magnéticos aerotransportados foi possível através dos portais públicos e digitais da ANP, CPRM e IBGE. Para a confecção do mapa gravimétrico residual utilizado para as análises e inversão deste trabalho, foram extraídas informações das bases de dados do projeto Geoterm (IF-UFBA) e fornecidos pela Rede Nacional de Gravimetria através do banco de dados da ANP (Petrobras e outras empresas petrolíferas), da CPRM e de grupos de pesquisa, além de dados cedidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados gravimétricos do projeto Geoterm foram adquiridos em campanhas terrestres entre os anos de 2013 a 2017. Os dados magnéticos processados neste estudo originam-se do projeto aerogeofísico Paulo Afonso-Teotônio Vilela (código 1104) (CPRM, 2011). A correção dos dados brutos foi realizada para remover outliers e influências indesejadas, como efeitos topográficos, variações de

maré, campo geomagnético terrestre, tendências regionais e eventos atmosféricos. Por fim, o dado foi recortado para a área alvo de estudo e realizadas as interpretações geofísicas conjuntas, para em seguida realizar o procedimento de inversão gravimétrica tridimensional.

A modelagem foi aplicada com o intuito de obter uma distribuição de densidade em subsuperfície de acordo com os dados de entrada de anomalia gravimétrica e as informações petrofísicas inseridas como vínculos para resultado do algoritmo. Após a realização deste procedimento, realizou-se uma avaliação qualitativa e interpretativa dos modelos de densidade e parâmetros obtidos, correlacionando as noções geológicas e geofísicas da área. Ademais, os resultados possibilitaram a extração de insights sobre as possíveis mineralizações e depósitos existentes na área de estudo.

Resultados

O polígono da área alvo a ser interpretada foi traçado de acordo com os seguintes critérios: Possuir anomalia Bouguer positiva e de destaque; Apresentar feições dipolares no dado de anomalia de campo total magnético; Exibir magnitudes positivas a partir do dado de amplitude do sinal analítico; E compreender no mínimo uma área potencial mineral definida e proposta na figura 1.

Os mapas geofísicos confeccionados para interpretação conjunta desta região estão dispostos na Figura 2. Este recorte, situado no domínio Rio Coruripe, engloba a área potencial RC2 (cobre, ouro e ferro) e parte de RC1 (ferro bandado). Sob RC2, localiza-se um alto gravimétrico relevante (Figura 2 (A)) que se estende em uma anomalia com formato de U aberto para NW. Isolado na seção NE do recorte, existe um outro alto gravimétrico correspondente a uma parte da anomalia causada pelo depósito localizado em RC1, de Ferro bandado. A assinatura gravimétrica e topografia expressam relação proporcional para esta área 3. Observa-se no mapa do Gradiente Horizontal Total (GHT) (Figura 2 (C)) valores positivos coincidentes com as bordas dos limites de RC2.

Quanto ao mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Figura 2 (D)) nota-se anomalias alongadas com uma tendência NW-SE, incluindo uma estrutura magnética situada entre as duas fortes anomalias gravimétricas do mapa (polígono preto). Tais aspectos podem significar a existência de uma transição entre litologias com características diferentes, ou contatos que podem indicar a separação e individualidade entre as fontes, principalmente se consideramos que está localizado na região de transição entre o domínio Macururé e Rio Cururipe. No mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Tilt Angle (ASTA) (Figura 2 (F)) é percebida tendência semelhante ao ASA e o relevo magnético acidentado fica evidente. Nesta seção predomina a disposição de altos gravimétricos associados a baixos de amplitude magnética, enquanto altos magnéticos concentram-se em regiões com gradientes negativos de anomalia Bouguer.

Para executar o processo de inversão tridimensional de densidade, empregou-se o software *Oasis Montaj* (©Seequent), utilizando-se o módulo VOXI, o qual emprega o algoritmo de inversão de reponderação iterativa *Cartesian Cut Cell,* desenvolvido por Ingram et al. (2003). Foi necessário definir inicialmente a propriedade física a ser representada, o tipo de dado geofísico e a modalidade de ajuste de erro, sendo estabelecido respectivamente densidade, anomalia gravimétrica e erro absoluto. Em seguida, foram determinados os parâmetros associados à malha tridimensional a ser gerada, também conhecida como voxel. Os dados necessários são o polígono que representa o contorno da área selecionada, o grid de anomalia Bouguer e a informação de elevação de terreno, todos em coordenadas UTM. A resolução do modelo foi estabelecida em 1000 m para corresponder aos critérios de restrição da versão do software disponibilizada para a modelagem. Para aprimorar os resultados da inversão, foram adicionados limites superiores e inferiores de densidade como atributo restritivo à distribuição da propriedade física em subsuperfície. O resultado da inversão é apresentado na Figura 3. O tempo de processamento foi de 50,65 segundos, com um erro de ajuste de 0,945 mGals entre o dado de anomalia gravimétrica original e o gerado pelo modelo de distribuição de densidade alcançado.

Discussão e Conclusões

O modelo de inversão da área alvo (Figura 3) destaca várias zonas com altos valores de contraste de densidade, e que em sua maioria apresentam um gradiente positivo de contraste de densidade da interface mais externa para o interior. Os valores das isosuperfícies desta seção foram definidas em 0,020, 0,035 e 0,670 g/cm³. Destacam-se 3 corpos de interesse por suas associações geológicas e assinaturas geofísicas.

A primeira fonte RC2A é oriunda de uma forte anomalia gravimétrica e possui extensão em profundidade de sua isosuperfície com menor contraste de densidade (0,020 g/cm³). A anomalia citada é geograficamente sobreposta às rochas do Complexo Arapiraca, onde existem paragnaisses bandados, frequentemente migmatizados com intercalações de lentes quartzíticas. Tais unidades geológicas são observadas em outras áreas potenciais e com depósitos de ferro, assim, sugere-se pesquisas de detalhe também na região do corpo RC2A.

Quanto a RC2B, o corpo possui extensão em profundidade acima de 6 km e forte contraste de densidade nas regiões mais rasas. Está localizado dentro dos limites da área potencial RC3 e pode ser correlacionado com o depósito de ferro ortomagmático associado a cobre e ouro, Serrote da Laje. Visualizando-se o mesmo padrão de distribuição de densidade de RC2B na direção NW-SE, e apresentando mergulho em profundidade para SE, o corpo adjacente a RC2B pode ser considerado uma extensão da mesma fonte ou semelhante, percebida em Serrote da Laje. O corpo RC1A, com orientação N-S, observado no modelo de densidade é correlacionado ao depósito de ferro bandado RC1. As estruturas de distribuição de densidade

formadas pelas isosuperfícies da figura 3 e o plano horizontal de 6 Km totalizam aproximadamente 856 km³.

O estudo obteve importantes compreensões do substrato da área alvo, que podem ser utilizados, entre outros, para promover a busca de novos depósitos na área de estudo, como sugerido para o corpo R2CA.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus sinceros agradecimentos às instituições e organizações que contribuíram para a realização deste estudo. Em particular, gostaríamos de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), pelo apoio acadêmico prestado ao longo deste projeto. Através da sua excelência acadêmica e dos seus recursos, realizamos uma investigação de alta qualidade e obtivemos conhecimentos valiosos para melhorar o nosso trabalho.

Gostaríamos também de agradecer ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM e IBGE por fornecer os dados geológicos e geofísicos desta pesquisa. Ademais, agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa de pesquisa concedida. Agradecemos sinceramente a todos os envolvidos e esperamos continuar com esta parceria e contribuir para avanços significativos na geofísica e nas geociências.

Referências

CPRM, 2011. Projeto aerogeofísico Paulo Afonso Teotônio vilela, Relatório Técnico, Serviço Geológico do Brasil. 106.

Gusmão, de O. R. & Eugênio, de M. W. & Rodrigues, D. N. R. & de Araújo, C. R. M, 2023. A review of the geophysical knowledge of the Borborema province, ne-Brazil, and tectonic implications, Journal of South American Earth Sciences, 126:104360.

Ingram, D. M. & Causon, D. M. & Mingham, C. G., 2003. Developments in cartesian cut cell methods, Mathematics and Computers in Simulation, 61(3-6):561–572.

Mantovani, M. S. & Shukowsky, W. & Neves, B. D. B. & Rugenski, A., 2008. Gravimetric study of a potential mineral deposit in the Itapororoca region, Brazil, Geophysical prospecting, 56(5):751–760.

Mendes, V. A. & Brito, M. d. F. L., 2017. Geologia e recursos minerais da Folha Arapiraca sc. 24-xd: estado de Alagoas escala 1: 250.000. Rel. Téc., CPRM.

Mendes, V. A. & Brito, M. d. F. L. & Paiva, I. P., 2009. Programa Geologia do Brasil-PGB. folha SC.24-X-D. Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Recife: CPRM, 2009, 1 mapa, color, 112,37 cmx 69,42 cm. Escala - 1 :250.000., Rel. Téc., CPRM.

Pereira, L. C. L. & Santos, L. C. M. d. L. & Carrino, T. A., 2019. The role of airborne geophysics in the investigation of gold occurrences in the Itapetim region, Borborema province, northeast Brazil. Brazilian Journal of Geology. 49.

Mota e Silva, J. & Filho, C. F. F. & Giustina, M. E. S. D., 2013. The Limoeiro deposit: Ni-cu-pge sulfide mineralization hosted within an ultramafic tubular magma conduit in the Borborema province, northeastern Brazil. Economic Geology.108(7):1753–1771.

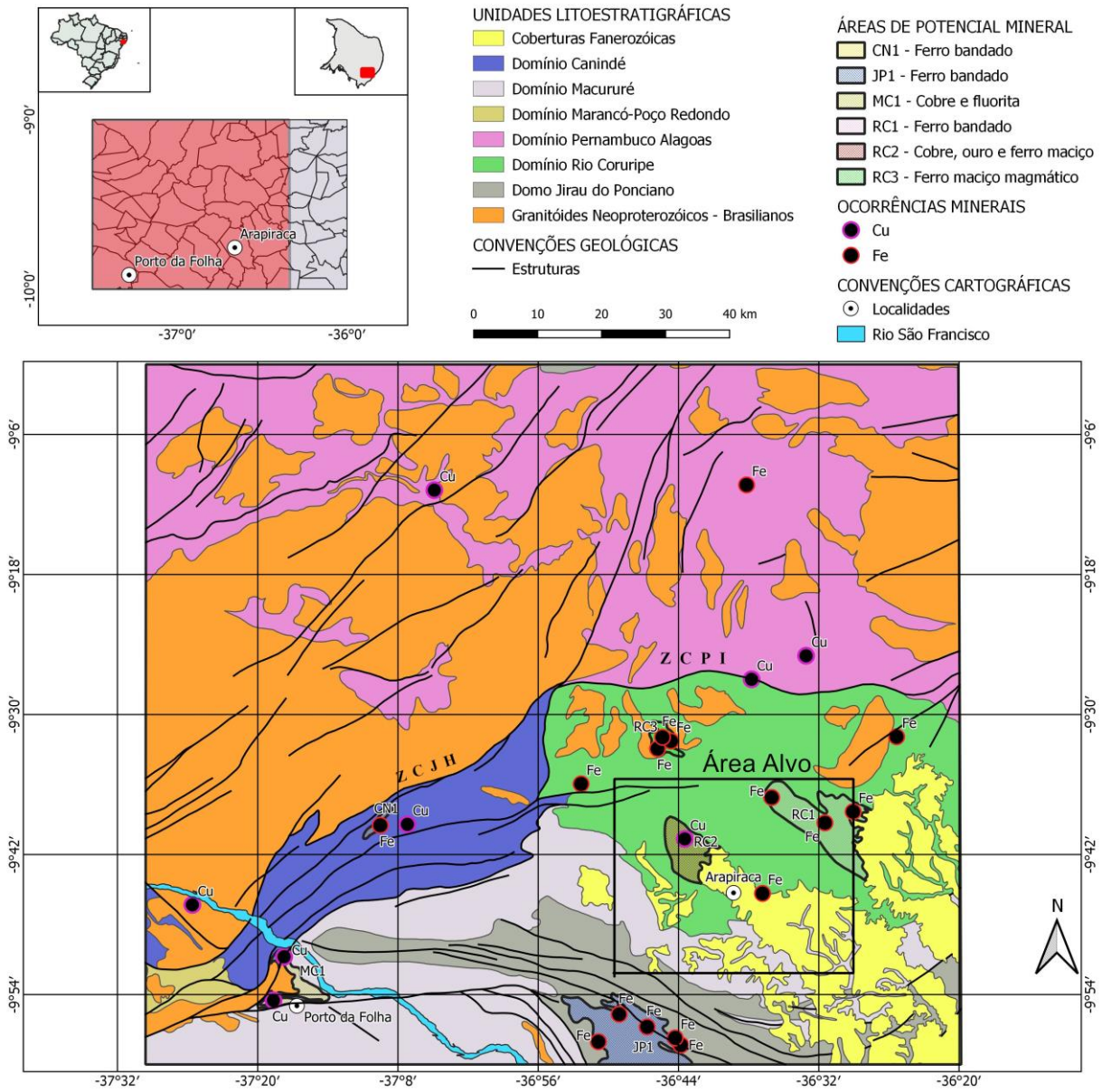

Figura 1 - Mapa da área de estudo com informações litoestratigráficas, estruturais e de interesse mineral e área alvo para modelagem inversa 3D de densidade. Recorte vermelho mostra a dimensão da área de estudo em comparação com a extensão da Folha Arapiraca SC-X-24. ZCPI - Zona de Cisalhamento Palmeira dos Índios/ ZCJH - Zona de Cisalhamento Jacaré dos Homens. Informações extraídas de Mendes et al. (2009).

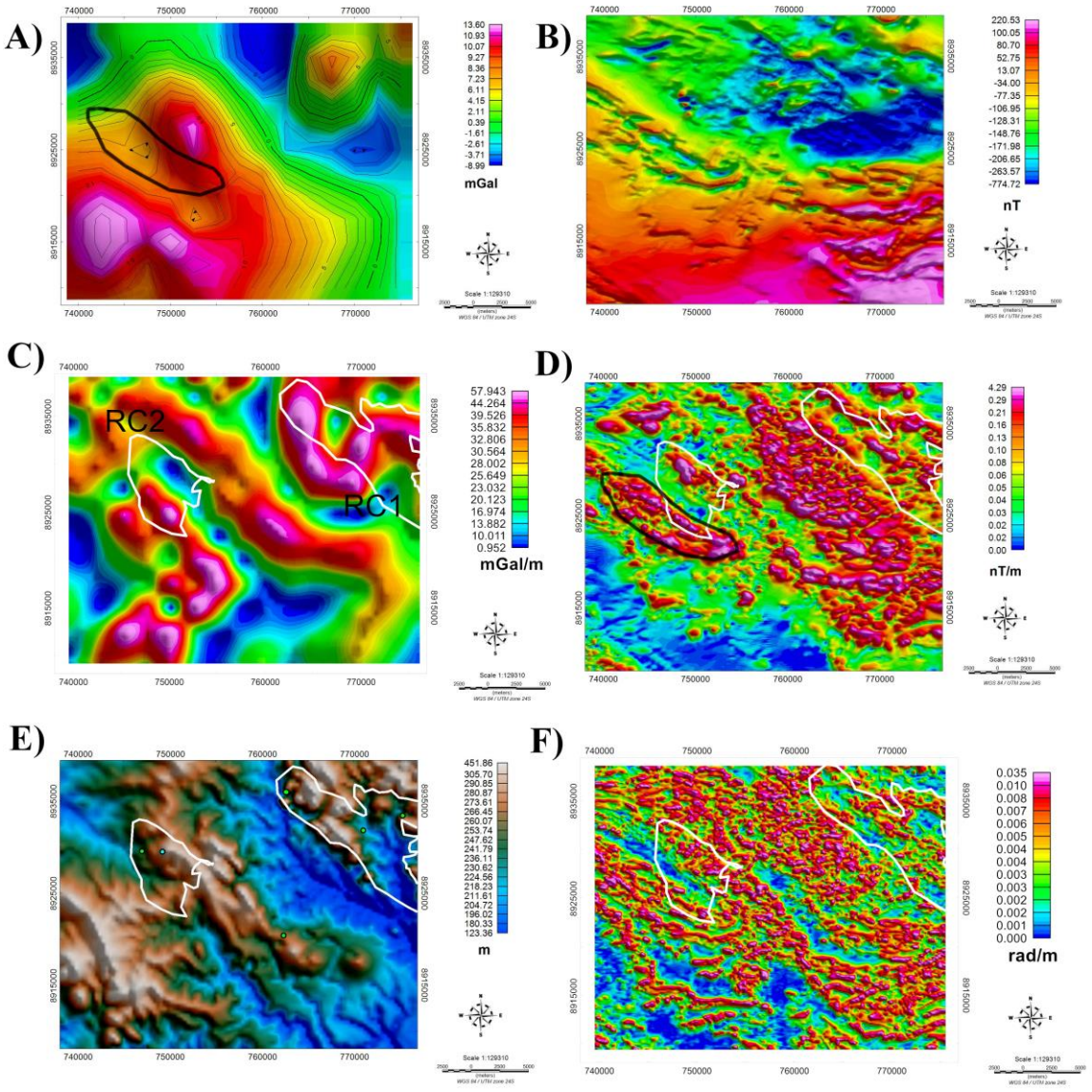

Figura 2 – Área alvo selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C)Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono da área potencial RC1 e RC2 sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono da área potencial RC1 e RC2 sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono da área potencial RC1 e RC2 sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Tilt Angle da seção com polígono da área potencial RC1 e RC2 sobreposto.

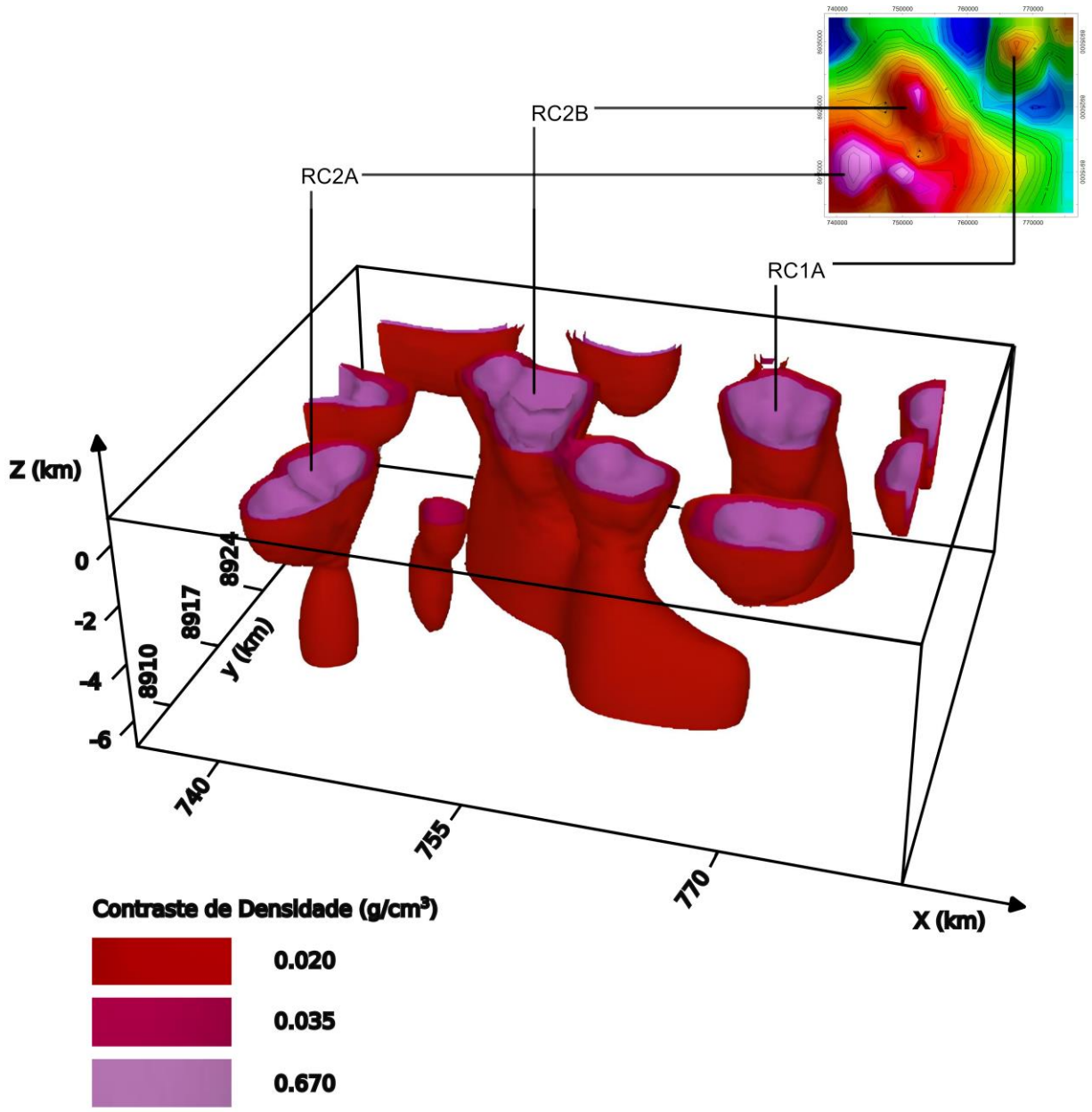

Figura 3 – Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área alvo, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.