

Interpretação de Dados Aeromagnetométricos na Região do Gráben de São João, Rio de Janeiro, Brasil

Guilherme B. Magioli* – Lagemar/UFF, Flávia Cabral Pereira– IG/UERJ, Paulo T. L. Menezes – FGEL/UERJ

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica
This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.
Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract (Font: Arial Bold, 9)

Several anomaly-enhancement techniques were applied to high-resolution airborne magnetic data of the São João Graben, offshore Cabo Frio platform. That approach allowed the identification of several subtle basement faults and the definition of the tectonic framework.

We identified new NW-SE faults associated to Early Cretaceous transfer zones that segment the obliquely rifted Atlantic margin. That segmentation has important implications for risk factor of deep-water petroleum systems of Campos Basin.

Introdução

A Bacia de Campos, localizada no Estado do Rio de Janeiro, é hoje, sem dúvida, uma região de vital importância para a economia do país, uma vez que nesta região encontra-se a maior parte das reservas de hidrocarbonetos, com maior importância para o petróleo. Cerca de quase 80% da produção nacional atual é oriunda desta bacia.

Por este motivo, esta região é uma das mais estudadas em termos de geologia marinha. Porém, como a maior parte dos campos de petróleo encontram-se em água profundas a ultra-profundas, a região proximal (Figura 1), correspondente à plataforma continental adjacente à bacia, permanece, até então, pouco estudada.

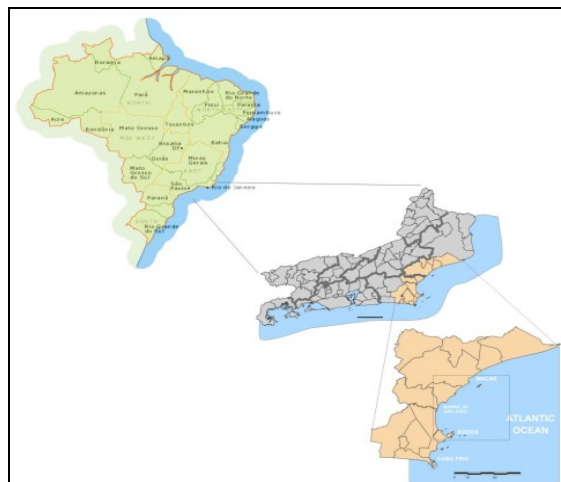


Figura 1 – Localização da área estudada.

No entanto, a região proximal da plataforma possui grande importância no que diz respeito ao condicionamento tectônico da bacia profunda. Pois estruturas tais como falhas transcorrentes muitas vezes fazem parte de grandes zonas de fratura que se estendem até a Cordilheira Meso-Atlântica (Meisling et al. 2001). Estas zonas de fratura podem ser responsáveis por reativações tectônicas de falhas e zonas de fraqueza nas porções profundas das bacias da margem leste (Cobold et al. 2001).

É esperado que tal tectônica tenha tido influência nos processos de formação, migração e armazenamento de hidrocarbonetos. Por isso, um melhor entendimento da geologia estrutural da porção de águas rasas, pode ajudar na geração de modelos de evolução tectônica que melhor expliquem os processos envolvidos na geologia do petróleo de águas profundas.

O objetivo do presente estudo é a determinação do arcabouço estrutural do Gráben de São João, um rombo-gráben assimétrico localizado na Plataforma de Cabo Frio (Mohriak e Barros, 1990) adjacente à Bacia de Campos (Figura 1), com ênfase no mapeamento dos principais sistemas de falhamentos de direção nordeste (sintéticos e antitéticos, gerados durante a fase sin-rifte), e os de direção noroeste visando ainda, determinar possíveis falhas de transferência e que atuem diretamente sobre a tectônica da bacia profunda.

Para tal serão interpretados dados aeromagnetométricos de um levantamento de alta resolução realizado no âmbito do projeto PETROBRÁS/FINEP "Falhas Extensionais Associadas à Riftes Cenozóicos: Características de Campo, Interpretação Geofísica e idade do Tectonismo". Os estudos até agora realizados englobam a utilização de diversos filtros digitais (Milligan e Gunn, 1997) visando melhorar a resolução dos dados magnéticos, permitindo dessa maneira a visualização de estruturas antes desconhecidas. Modelagens 2D foram realizadas em um perfil cortando o Gráben de São João visando a definição da profundidade do embasamento.

Área de Estudo

O objeto de estudo consiste em um gráben assimétrico, localizado *offshore* entre as latitudes das cidades de Búzios e Macaé, com dimensões aproximadas de 20 km por 40 km, sendo seu eixo maior orientado segundo a direção NE. A batimetria na região central deste gráben, localizada à latitude da cidade de Barra de São João, varia de 20 a 50m (Souza,2002).

A referida estrutura encontra-se localizada na Plataforma Continental de Cabo Frio, no Estado do Rio de Janeiro conforme mostrado nas Figuras 1 e 2. Adjacentes a esta

plataforma estão localizadas, a ENE, a Bacia de Campos, responsável por cerca de 70% da produção nacional de petróleo; e a SSE, a Bacia de Santos, onde recentes descobertas indicam a presença de significativas reservas de hidrocarbonetos.

Geologia Regional

As principais unidades litológicas aflorantes no Estado do Rio de Janeiro compreendem gnaisses, granitos e migmatitos deformados por esforços atuantes na orogênese do Ciclo Brasileiro (de 900 a 500 Ma) (Mohriak e Barros, 1990).

Além das rochas metamórficas predominantes, há também a ocorrência de corpos ígneos intrusivos, como os granitos associados à orogenia brasileira e os corpos alcalinos de idade cretácea a terciária.

O comportamento tectônico recente da região do Delta do Rio Paraíba apresenta uma tendência positiva, visto que aí ocorre emersão de áreas anteriormente submersas com formação de grandes planícies costeiras aluviais. Na região próxima ao Cabo de São Tomé, a norte do Estado do Rio de Janeiro, ocorre a presença de terrenos sedimentares de idade terciária. Alguns trabalhos atestam um papel importante para pequenas flutuações eustáticas do nível do mar (Maia *et al* 1984, Martin *et al* 1984, *apud* Mohriak e Barros, 1990).

A evolução tectônica da Bacia de Campos está associada ao rifteamento Mesozóico no Atlântico Sul, que resultou na ruptura do continente de Gondwana. Modelos atribuem que a história da subsidência desta bacia é um rifteamento inicial e posterior recuperação térmica da litosfera.

A Bacia de Campos apresenta características na sua evolução tectono-sedimentar, que tornam singular em termos de potencial petrolífero, tais como, baixo grau de afinamento crustal, reativação das fontes de sedimentos, intensa tectônica adiastrófica e as variações globais do nível do mar ocorridas no Neocretáceo e Terciário. A interação entre estas características criou as condições propícias à acumulação de enorme volume de hidrocarbonetos.

Metodologia

Os dados magnéticos utilizados na realização deste estudo foram adquiridos em levantamento aéreo não confidencial realizado pela empresa Fugro-LASA. A altura do voo manteve-se aproximadamente constante a 150 metros de altitude e a malha do levantamento constituiu-se de linhas paralelas distantes cerca de 125 metros umas das outras.

Estes dados foram previamente tratados (correções de LAG, Heading, retirada de spikes, remoção de IGRF, etc.). Em seguida, foi gerado um grid do campo magnético anômalo total, o qual foi utilizado como base para as filtragens digitais realizadas no estudo.

Filtros digitais foram aplicados aos dados de campo magnético total (TMI – Total Magnetic Intensity) gerando

uma série de mapas de interpretação (Lyatsky *et al.* 2004). Estes procedimentos visaram, dentre outros aspectos, ora acentuar as altas frequências (estruturas mais superficiais), ora as baixas frequências (estruturas mais profundas), ora algumas direções preferenciais, estratégicas para a definição do padrão estrutural da área de estudo.

Filtros Aplicados

Derivada Vertical (ou Gradiente Vertical)

A derivada vertical de uma anomalia é a amplitude, ou intervalo de altura, do espectro da anomalia multiplicado pela ordem da derivada. A primeira derivada vertical (gradiente vertical ou taxa de declividade) é fisicamente equivalente à medida do campo magnético de dois pontos muito próximos. O cálculo é realizado através da subtração de dois valores e divisão do resultado pela separação vertical entre os pontos (Milligan e Gunn, 1997). A segunda derivada vertical é o gradiente vertical da primeira derivada. Quanto maior a ordem da derivada (n), mais rasas serão as estruturas que são evidenciadas. A equação que define a derivada vertical é dada por:

$$\frac{1}{n} \left[(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} \right]^n$$

No processamento em questão, foram calculados de ordens 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2, 2.5. A Figura 2 mostra os resultados obtidos para a segunda ordem.

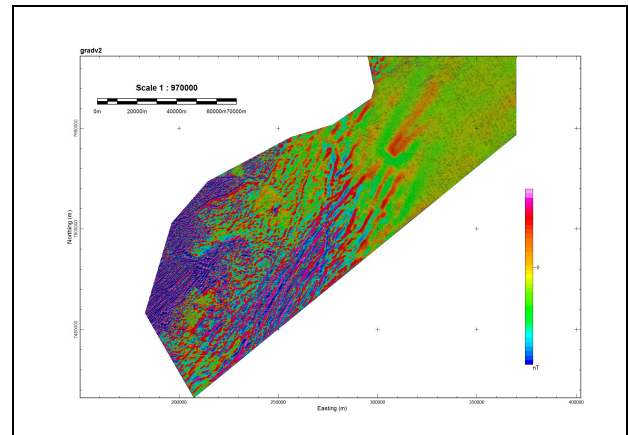


Fig. 2: Mapa da segunda derivada vertical.

O mapa resultante de filtragens da derivada de segunda ordem vertical permite evidenciar as estruturas mais superficiais, em especial as de orientação NE-SW, demarcando muito bem o limite sul do gráben (Fig. 2).

Continuação para Cima

Este filtro simula um afastamento entre o magnetômetro e a superfície medida. Desta forma, são realçadas, as feições regionais, ou seja, mais profundas, e associadas às baixas frequências. A distância relativa a este afastamento pode ser escolhida, assumindo valores de até milhares de metros. Quanto maior o valor adotado, menor o nível de detalhe

obtido. No processamento foram escolhidas as distâncias de 100, 200, 400 e 1000 metros.

Filtros Direcionais

Este filtro tem o objetivo de evidenciar ou excluir determinada direção no dado, visando aumentar a definição de determinadas estruturas geológicas com direções específicas, como falhas, zonas de fratura, etc.

Pode-se realizar uma filtragem do tipo passa direção (acentuando determinada direção e excluindo as demais), ou rejeita direção (excluindo determinada direção e acentuando as demais).

No processamento foram realizadas filtragens do tipo passa direção, evidenciando as direções em torno de 45° (realçando estruturas como falhamentos ditos transcorrentes, de direção preferencial NW-SE (Meisling et al., 2001)) e 135° (realçando estruturas de direção preferencial NE-SW, associadas a falhas normais, sintéticas ou antitéticas (Mohriak e Barros, 1990)).

Interpretação

Os mapas gerados foram importados para um software de interpretação com suporte a ferramentas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) aonde procurou-se destacar as estruturas desejadas.

Foram geradas interpretações estruturais, tais como delimitação do contorno do Gráben e São João, e identificação de falhas transversais à direção preferencial dos falhamentos da região de estudo (NE-SW), ou seja, evidenciando as estruturas orientadas na direção NW-SE, bem como algumas com tendência E-W. Segundo Meisling et al. (2001) estes tipos de falhas estariam associadas a zonas de transferência nas Bacias de Campos e Santos, possuindo influência direta sobre as bacias de águas profundas, pois a movimentação do embasamento em relação ao eixo, pode gerar reativações tectônicas em regiões mais profundas, ocasionando diversos processos geológicos, como por exemplo a ruptura de trapas estruturais e a migração de hidrocarbonetos (Cobbold et al., 2001).

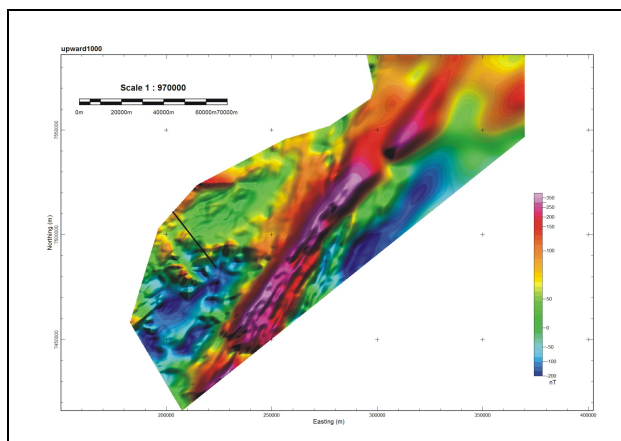


Fig. 3: Mapa de continuação para cima 1000m. A linha indica a localização do perfil aonde foi realizada uma modelagem 2D (Figura 6).

O mapa gerado a partir do filtro de continuação para cima de 1000m permite evidenciar estruturas superficiais (alta frequência), possibilitando a percepção das falhas mais profundas. Nota-se uma grande linha de charmeira na porção central do mapa (tons de rosa), com orientação aproximada NE-SW, que limita a porção dominada por águas rasas da bacia profunda.(Fig. 3)

No mapa do filtro direcional 45° foram ressaltadas as estruturas existentes na direção NW-SE, relacionadas às falhas transversais.(Fig. 4).

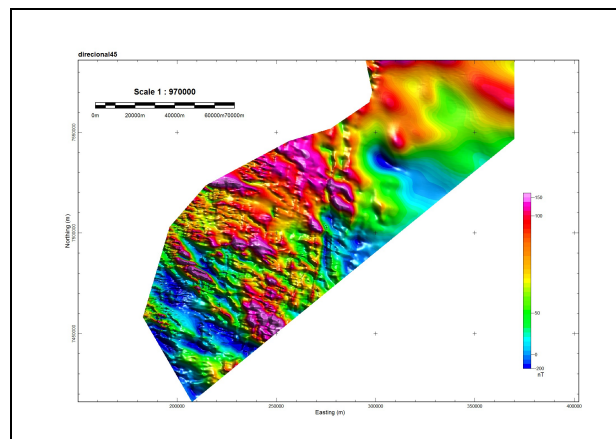


Fig. 4: Mapa do filtro direcional 45°. Notar o realce das estruturas com direção noroeste.

Após a análise dos diferentes tipos de filtragens, foi gerado um mapa de interpretação sobre o mapa da segunda derivada vertical (Fig. 5) Este foi utilizado para identificar os limites do Gráben, além de evidenciar grandes falhas orientadas NE-SW, porém, são apresentadas também falhas transversais, orientadas NW-SE, as quais são evidenciadas no mapa do filtro direcional de 45°.

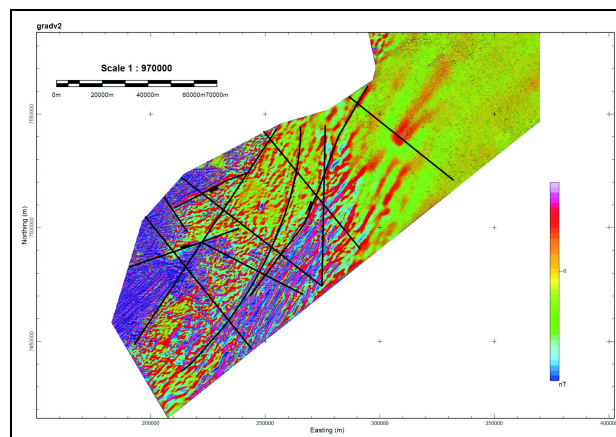


Fig. 5: Interpretação estrutural sobreposta à segunda derivada vertical. Limites do Gráben de São João e falhas transversais.

Modelagem 2-D

A modelagem geofísica envolve a criação de um modelo geológico hipotético e o cálculo da resposta geofísica

àquele modelo da Terra. É sempre importante ressaltar que modelos magnéticos não são únicos, uma vez que diversos modelos podem gerar a mesma resposta magnética. A ambigüidade matemática pode muitas vezes ser reduzida pelo fato de muitas respostas estarem associadas a modelos geologicamente incorretos. Cabe, portanto, ao interprete julgar a viabilidade geológica de cada modelo.

Na modelagem bi-dimensional, presume-se que a Terra possui variação de propriedades físicas ao longo de apenas duas dimensões: X, definida como direção ao longo do perfil; e Z, definida como a profundidade. A direção Y (*strike*), ortogonal a direção do perfil a ser modelado, não apresenta variação da propriedade física desde $-\infty$ a ∞ .

Para realização da modelagem 2-D da área de estudo, foi utilizado o software GM-SYS em ambiente LINUX, que permite uma manipulação intuitiva e interativa do modelo geológico e o cálculo em tempo real da resposta magnética.

A geração da modelagem geologia-geofísica 2-D foi realizada através dos seguintes procedimentos:

1. Seleção de perfil cortando a parte sul do Gráben de São João.
2. Definição dos parâmetros do IGRF local e do levantamento, como intensidade do campo magnético total, inclinação e declinação do vetor de indução magnética, e altura de vôo do aerolevante.
3. Criação do modelo inicial e definição do valor de susceptibilidade magnética para o embasamento magnetizado.
4. Alteração do relevo do embasamento ao longo dos perfis em diversas iterações, de modo a se obter um bom ajuste da anomalia magnética do modelo.
5. Confecção de modelos geológicos finais, levando em conta a análise da geologia no perfil selecionado.

Na Figura 6, é apresentado o modelo geofísico final a partir de modelagem 2D magnetométrica obtida no programa GM-SYS. A interpretação apresentada é baseada na correlação com o conhecimento geológico prévio da região. O mapeamento do Gráben de São João é identificado através das principais falhas normais que delimitam as porções norte e sul. A profundidade do embasamento dentro do Gráben varia entre 800 e 1200 metros, sendo observadas falhas normais sintéticas e antitéticas.

Discussões e Conclusões

A interpretação de dados aeromagnéticos permitiu definir o arcabouço estrutural do Gráben de São João. As principais falhas identificadas, alinham-se segundo a direção NE-SW, acompanhando a tendência dos chamados falhamentos de São Tomé. As falhas que

condicionam o Gráben de São João, encontram-se alinhadas segundo esta direção, sendo que a falha normal antitética localizada na borda sul, corresponde a porção marinha da Falha do Pai Vitório, na ponta de Búzios, dando a idéia de que a primeira seria uma continuação desta estrutura mar adentro.

As falhas que controlam os limites da bacia do Gráben apontam a possibilidade se haver uma continuação do mesmo na porção continental, na região sul da cidade de Campos, uma vez que estas falhas prolongam-se na direção NNE.

Falhamentos NW-SE, transversais as principais feições da região, também foram evidenciados. Estes, estão associados a uma zona de transferência existente na região, associada à linha de inflexão na direção E-W da linha de costa, dos falhamentos e linha de charneira, presentes entre a região de Baía de Ilha Grande e Cabo Frio, que atua como um mecanismo de ajuste de placas. Esta mudança na direção preferencial da estrutura geológica provavelmente se deu durante a faz rift da abertura do Oceano Atlântico, no Cretáceo, em decorrência de uma linha de fraqueza preexistente.

A linha de fraqueza foi utilizada também na geração das grandes zonas de fratura que segmentam a Cordilheira Meso-Atlântica, algumas das quais se prolongam até o continente. Das falhas identificadas na interpretação do mapa da derivada vertical direcional 45° , as mais expressivas podem estar associadas à bacia profunda, influenciando-a diretamente, através de movimentos gerados por reativações tectônicas. Esta movimentação no eixo das falhas pode influenciar diretamente a geologia do petróleo, causando entre outros processos, o rompimento de trapas estruturais e migração de hidrocarbonetos.

A modelagem 2-D realizada em perfil no eixo transversal do gráben forneceu parâmetros para a definição da profundidade do embasamento e identificação de falhas sintéticas e antitéticas no interior da bacia.

Agradecimentos

Agradecemos ao projeto PETROBRÁS/FINEP "Falhas Extensionais Associadas à Riftes Cenozóicos: Características de Campo, Interpretação Geofísica e idade do Tectonismo" o financiamento das atividades de pesquisa. FCP agradece bolsa de estudo PIBIC-UERJ. GBM agrade a bolsa de estudos fornecida pela ANP.

Referências

- Cobbold, P.R., Meisling K.E., Mount, V.S. 2001. Reactivation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basin, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, **85**, 1195-1944.
- Dias, J.L., Scarton, J.C., Guardado, L.R., Esteves, F.R., Carminatti, M. 1990. Aspectos tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos, in G.P. Raja Gabaglia e E.J. Milani., eds., Origem e evolução de bacias sedimentares: Rio de Janeiro, Petrobrás, 333-360.

- Lyatsky, H., Pana, D., Olson, R., Goldwin, L. 2004. Detection of subtle basement faults with gravity and magnetic data in the Alberta Basin, Canada: a data-use tutorial. *The Leading Edge*, 1282-1288.
- Meisling, K.E., Cobbold, P.R., Mount, V.S. 2001. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, **85**, 1903-1924.
- Milligan, P.R. e Gunn, P.J. 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *Journal Geol e Geophys.*, 17, 63-75.
- Mohriak, W.U., Barros, A.Z. 1990. Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o gráben de Barra de São João na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira Geociências*, **20**, 187-196.

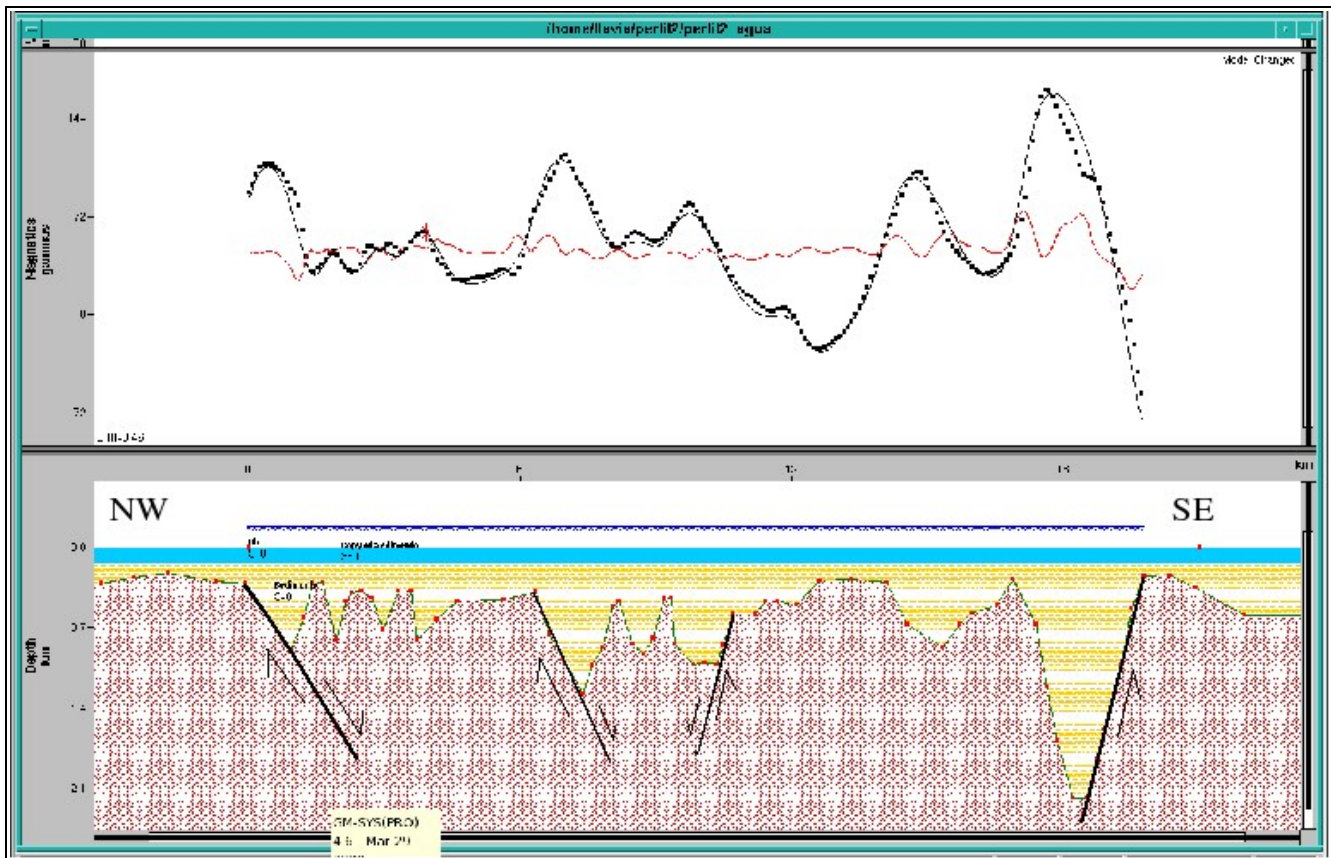


Figura 6 – Painel superior: comparação entre dados observados (linha pontilhada), calculados (linha contínua) e erro do ajuste (linha vermelha). Painel inferior: modelo geofísico final de perfil cortando o Gráben de São João, sedimentos (amarelo) e embasamento (vermelho).