

Interpretação geológica de dados gravimétricos e magnéticos da Bacia Sedimentar do Amazonas

Thiago Gomes^{1*}, Alanna Dutra^{1**}, Alana Aderne², Ariele Batistti² e Manuelle Góis³, Georadar Levantamentos Geofísicos S.A.¹²³, Universidade Federal da Bahia^{1**}. ^{1*} Apresentador.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

Some techniques for interpretation of potential field data (gravity and magnetic) such as Spectral Analysis and Fourier Filters, are presented and explained. The objective of this study is to show how gravity and magnetic data analysis can improve geological interpretation of structural subsurface mapping and the identification of the intrusion zones. Firstly, some techniques were applied to a rectangular prism (with constant physical properties), in order to better explain the subject of the study. Then, the same techniques were applied on real gravity and magnetic data in the Amazon Sedimentary Basin to assist seismic interpretation with a preliminary geological approach.

Introdução

Dentre os métodos geofísicos utilizados na exploração de petróleo e gás, os métodos potenciais (gravimetria, magnetometria) ocupam papel de destaque, sendo extensivamente aplicados aos estudos regionais de bacias sedimentares e das zonas de rochas intrusivas (Munis, 2009). Nos últimos anos, foram publicados alguns casos de sucesso na aplicação de métodos potenciais na redução de ambiguidades na interpretação sísmica, especialmente para a determinação da geometria de domos salinos, através da modelagem direta ou inversa, em 3D de dados potenciais (Silva *et. al*, 2011). Inserido neste contexto, este trabalho tem o objetivo de mostrar como algumas técnicas de processamento (transformada de Fourier, análise espectral e processos de filtragem), aplicadas aos dados gravimétricos e magnéticos, podem auxiliar na interpretação preliminar da geologia, identificando altos e baixos estruturais; lineamentos (contatos geológicos ou falhas); possíveis zonas com incremento volumétrico de intrusivas ígneas e, ainda, promovendo a integração com a resposta sísmica.

Os dados gravimétricos (GRAV_3D_PROGRAMA_2) e magnéticos (MAG_3D_PROGRAMA_2) utilizados neste trabalho estão localizados na Borda Norte da Bacia Sedimentar do Amazonas, onde o mapa de localização é mostrado na Figura 1.

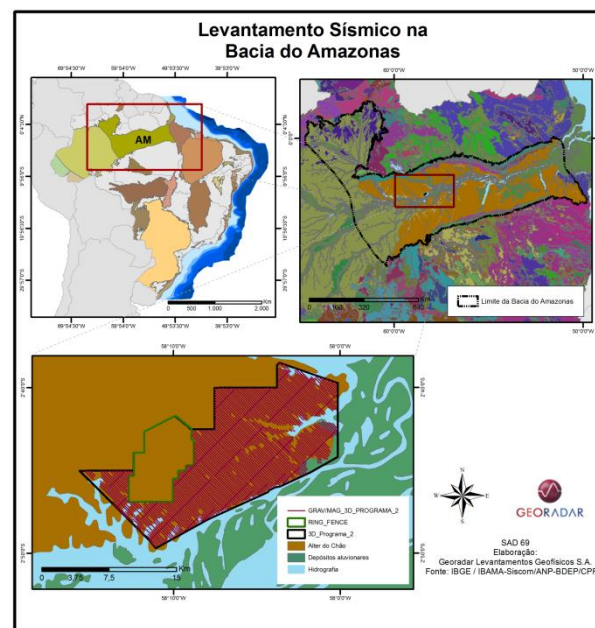


Figura 1 - Localização da área de aquisição dos dados GRAV/MAG_3D_PROGRAMA_2 (Schobbenhaus *et. al*, 2004).

Geologia Local

A Bacia do Amazonas é classificada como uma bacia paleozoica intracratônica, com área total aproximada de 615.000 km².

Do ponto de vista tectono-estratigráfico, segundo Cunha *et. al* (1994), a Bacia do Amazonas pode ser dividida em quatro grandes seqüências deposicionais:

- **Seqüência 1** (NeoOrdoviciano a EoDevoniano): Grupo Trombetas – Composto pelas formações Autás-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru;
- **Seqüência 2** (EoDevoniano a Carbonífero): Grupos Urupadi e Curuá – Compostos pelas Formações Maecuru, Ererê, Curiri, Oriximiná e Faro;
- **Seqüência 3** (Carbonífero a NeoPermiano): Grupo Tapajós – Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá;
- **Seqüência 4** (Cretáceo a Terciário): Formações Alter do Chão, Solimões e Uçá.

Além das seqüências sedimentares, a Bacia do Amazonas apresenta intenso magmatismo (básico e ultrabásico) de idade juro-triássica. Este magmatismo é facilmente identificado pela presença grande quantidade de diques e soleiras de diabásio na seção sedimentar. Essas seqüências apresentam papel fundamental no

processo de maturação da matéria orgânica, como podemos ver na seção esquemática (Figura 2), fornecida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (Dignart e Vieira, 2009), que corta a Bacia desde o Arco de Purus (SW) até o Arco de Gurupá (NE)

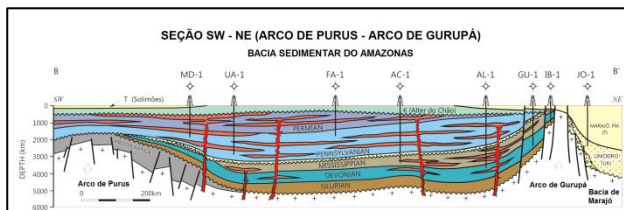


Figura 2 - Seção geológica esquemática da Bacia do Amazonas.

O sistema petrolífero da Bacia do Amazonas tem como principal rocha geradora folhelhos radioativos de idade devoniana, porém, há também folhelhos com idade siluriana com bom potencial de geração.

São três os principais reservatórios da Bacia do Amazonas: arenitos neodevonianos da Formação Curiri (Marino-Glacial) arenitos eólicos da Formação Monte Alegre (Carbonífero), e também arenitos da Formação Nova Olinda (Neocarbonífero).

As rochas selantes dos reservatórios devonianos são folhelhos e diamictitos da Formação Curiri. Para os reservatórios carboníferos (Formação Monte Alegre) os carbonatos da Formação Itaituba são os principais selos. O reservatório EoCarbonífero (Formação Nova Olinda) é selado pelas sequências evaporíticas também da Formação Nova Olinda.

Completando o sistema petrolífero da Bacia do Amazonas, os sistemas de trapas encontrados são – estruturais: anticlinalis assimétricos, estruturas dômicas associadas ao bloco alto de falhas, anticlinalis assimétricos associados a falhas reversas. Há também trapas estratigráficas tais como – *pinch-outs* e Paleogeomórficas. Esses exemplos de trapas estão mostrados na Figura 3.

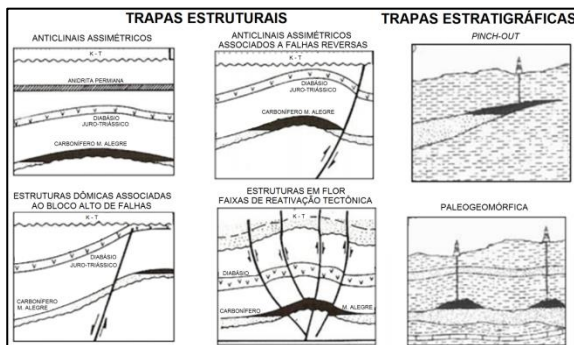


Figura 3 - Exemplo de trapas encontradas na Bacia do Amazonas.

Metodologia

Neste trabalho, estão apresentados os resultados obtidos com a análise espectral e a interpretação estrutural preliminar, com base nos resultados da aplicação de alguns filtros de Fourier 2D. Dentre as técnicas mais

utilizadas para a interpretação de dados gravimétricos e magnéticos podemos citar:

- Análise espectral (Spector e Grant, 1970);
- Filtragem de Fourier 2D (Gupta e Grant, 1985);
- Métodos automatizados de estimativa de profundidade de fontes (Barbosa *et. al*, 2005);
- Modelagem direta e inversa 2D e 3D (Silva *et. al*, 2011).

O método proposto por Spector e Grant (1970) faz a estimativa da média das profundidades com base na concepção de que o logaritmo do espectro de potência de um campo potencial em função do número de onda (obtido através da transformada de Fourier 2D) é causado por uma distribuição de fontes não correlacionadas espacialmente. Desta forma, o espectro de potencia da média radial de um campo potencial em função do número de onda pode ser dividido em n -segmentos, onde, através da inclinação dos segmentos, pode ser obtida a estimativa média da profundidade das interfaces ou fontes causadoras das anomalias gravimétricas e magnéticas. Na Figura 4a é mostrada a resposta magnética causada por este prisma – amostragem de 50 metros (célula do *grid*). Como exemplo, na Figura 4b é mostrado um prisma vertical de 5 km³, com susceptibilidade magnética de 0,5 CGS, onde a profundidade do topo é de 2,5 km e a base está situada a 7,5 km. Pela teoria de amostragem (Nyquist), a maior frequência / número de onda que pode ser amostrada, sem que haja falseamento, (correspondente a 50 m como intervalo de amostragem) é de 0,01 Hz, como mostra a Equação 1:

$$\Delta n = 1 / 2 * \text{taxa de amostragem} \quad (\text{Equação 1})$$

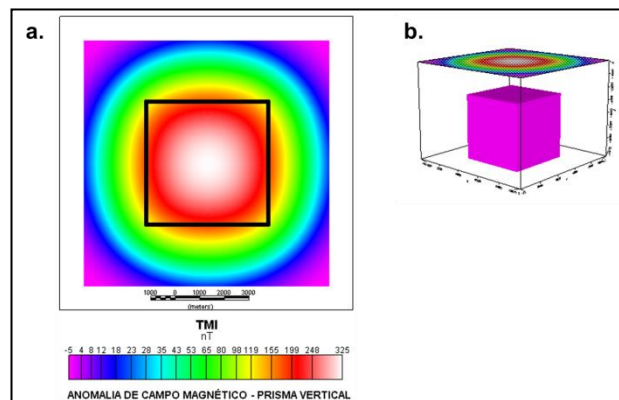


Figura 4 - a. Grid da anomalia magnética gerada pelo prisma vertical. b. Imagem 3D de um prisma retangular e a resposta magnética.

Os resultados da análise espectral da resposta magnética do prisma estão mostrados na Figura 5 – resultado para o menor número de onda (baixa frequência) que representa a base do prisma, e na Figura 6 – alta frequência, que representa o resultado da análise espectral para o topo do prisma. Nos resultados encontrados, a profundidade da base estimada com o método da análise espectral foi de 7.516 m, e a

estimativa do topo da profundidade do topo foi de 1.397,97 m.

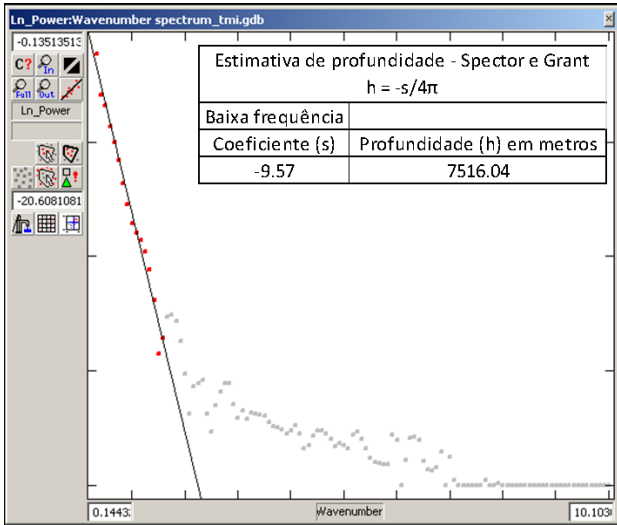


Figura 5 - Resultado da análise espectral – baixa frequência.

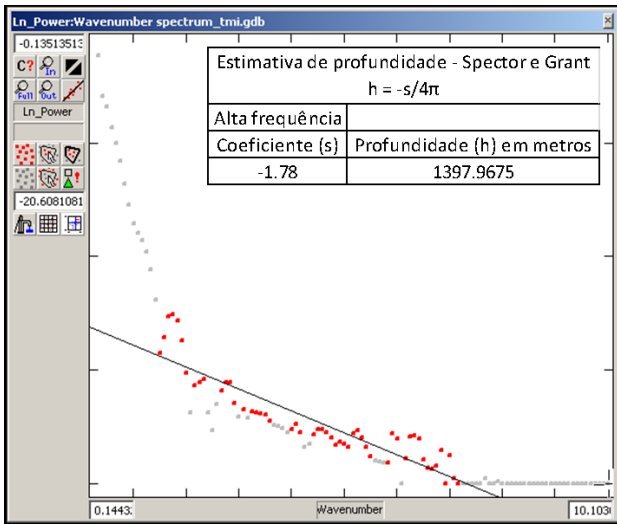


Figura 6 - Resultado da análise espectral – alta frequência.

Com relação à utilização dos filtros no domínio de Fourier 2D, em linhas gerais, na Tabela 1 estão mostrados os filtros de Fourier mais utilizados em métodos potenciais e sua aplicação.

Tabela 1 - Filtros de Fourier e suas aplicações.

Filtro de Fourier	Aplicação
Sinal Analítico	Intrusivas (diques e soleiras), feições estruturais.
Derivadas direcionais	Falhas, contatos e centro de intrusivas verticais.
Fase do sinal analítico	Auxílio na visualização de falhas e lineamentos
Redução ao Polo/Equador	Melhorar a interpretação de fontes
Continuação para cima	Separação regional/residual

Para interpretação dos *trends* estruturais com base nos dados magnéticos foi utilizada a combinação de dois filtros de Fourier 2D:

- **Redução ao Equador Magnético** - transforma anomalias bipolares em monopulares, facilitando a compreensão das zonas que apresentam altos e baixos magnéticos;
- **Derivadas direcionais** – depois de transformar as anomalias magnéticas em monopulares, ao aplicar o filtro da derivada, as zonas de falha e contatos geológicos são evidenciados pelos valores máximos e mínimos apresentados no processo de derivação.

Para os dados gravimétricos foi aplicada apenas a remoção regional – residual utilizando o seguinte processo:

Separação regional / residual: Foi aplicado o filtro de continuação para cima – comprimento de onda de 40 km (escolhido com base na profundidade crustal média na região do Cráton do Amazonas, segundo Krüger *et. al*, 2002), onde é obtido o *grid* regional de anomalia Bouguer, então este *grid* regional é subtraído do *grid* de anomalia Bouguer.

Resultados

Com a análise espectral foram encontrados dois grandes grupos de fontes – profundas e rasas. As fontes profundas estão provavelmente associadas às rochas do embasamento cristalino, entre 3.800 e 5.000 m de profundidade, e as fontes rasas em torno de 810 m de profundidade. As fontes rasas podem estar correlacionadas com rochas intrusivas (de idade triássica), diques ou soleiras de diabásio, comumente encontradas na Bacia do Amazonas. Nas Figura 7 e Figura 8, são mostrados os resultados da análise espectral para os dados magnéticos e, nas Figura 9 e Figura 10, os resultados obtidos para os dados gravimétricos da análise espectral.

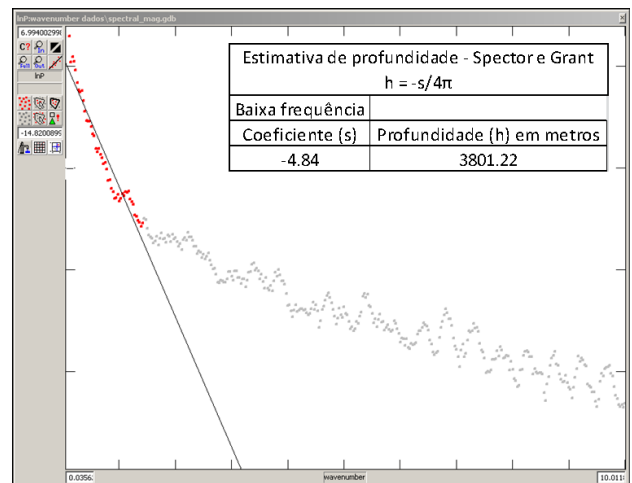


Figura 7 - Espectro de potência com o cálculo da profundidade para baixa frequência do dado magnético.

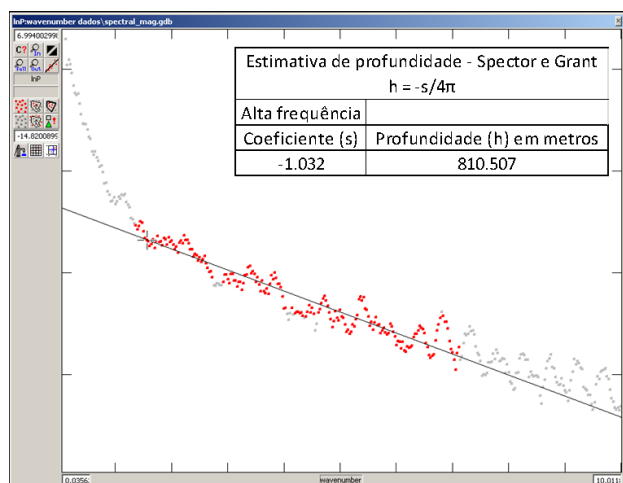


Figura 8 - Espectro de potência com o cálculo da profundidade para alta frequência do dado magnético.

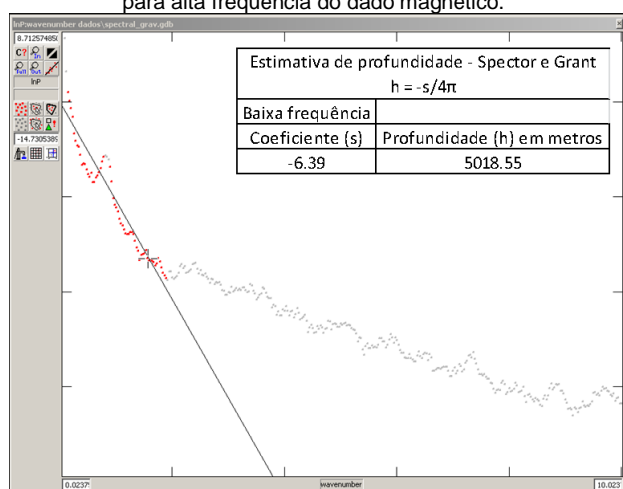


Figura 9 - Espectro de potência com o cálculo da profundidade para baixa frequência do dado gravimétrico.

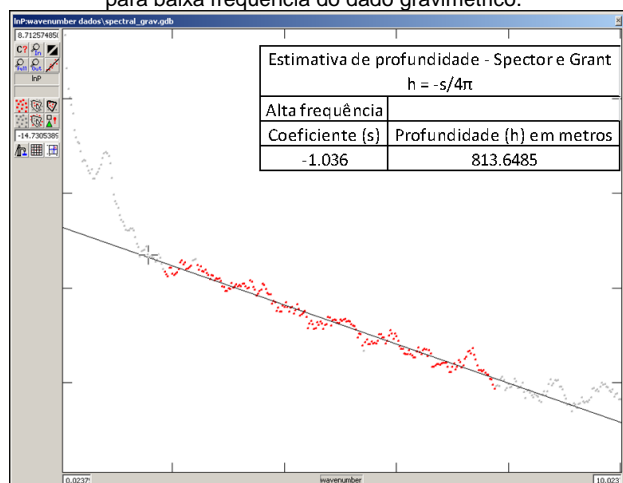


Figura 10 - Espectro de potência com o cálculo da profundidade para alta frequência do dado gravimétrico.

Após a análise espectral, foi feita a análise dos mapas de anomalia magnética e gravimétrica. Com essa análise, foi possível estimar os principais lineamentos geofísicos /

geológicos mapeados com base nos produtos gerados a partir dos filtros no domínio de Fourier. Os resultados estão mostrados na Figura 11a (mapa de anomalia magnética reduzida ao Equador) e na Figura 11b, onde são mostrados os principais lineamentos sobre o mapa de anomalia magnética. O mapa de anomalia gravimétrica Bouguer Residual é mostrado na Figura 12a e os mesmos lineamentos obtidos com a interpretação do dado magnético estão mostrados no mapa de anomalia gravimétrica Bouguer residual (Figura 12b), mostrando forte correlação entre eles e, também, que as fontes causadoras das anomalias magnéticas são as mesmas das anomalias gravimétricas.

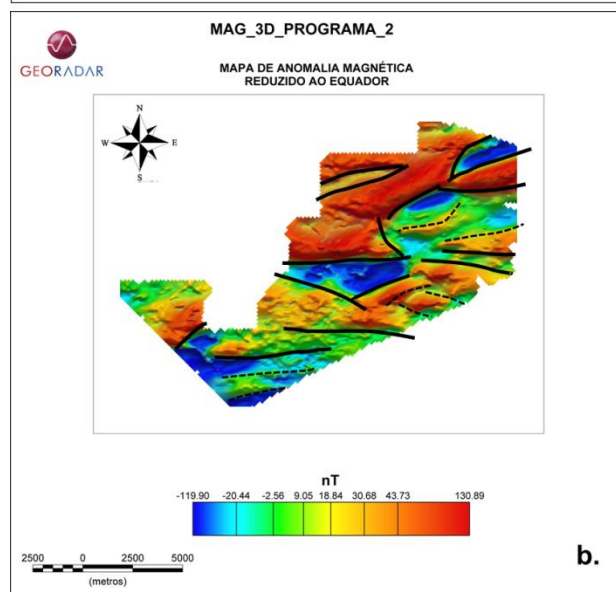
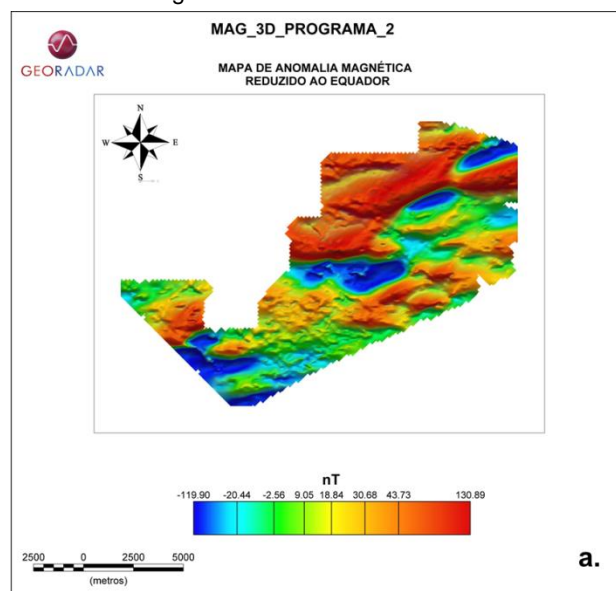


Figura 11 - a. Mapa magnético reduzido ao Equador; b. Principais trends obtidos com a análise do mapa magnético reduzido ao Equador.

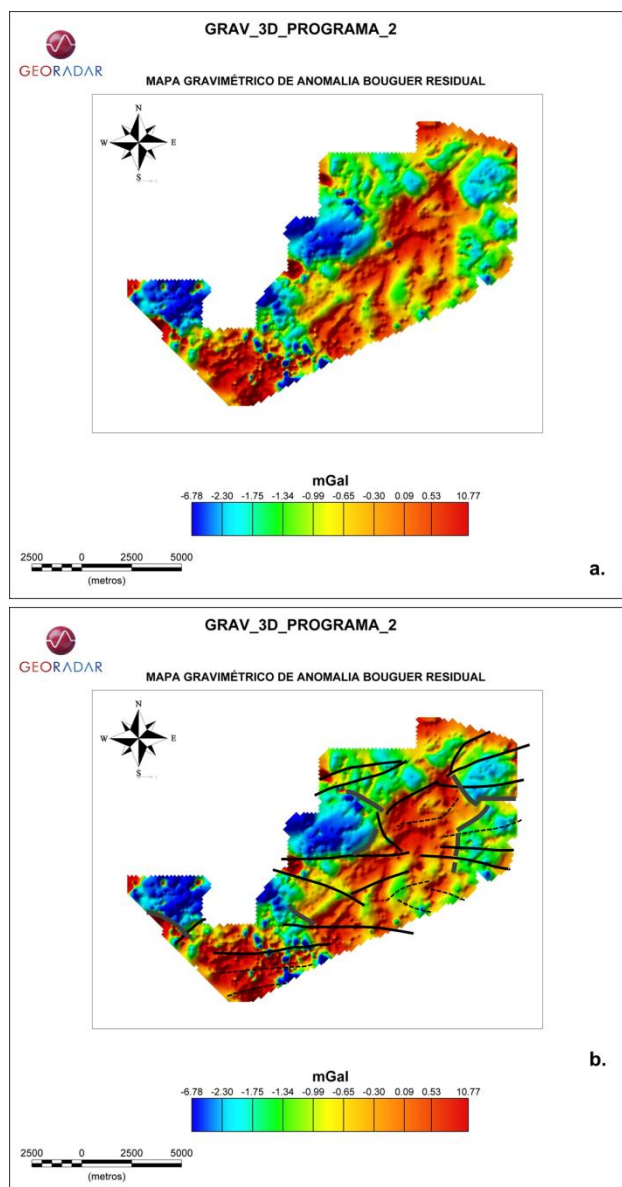


Figura 12 - a. Mapa gravimétrico de anomalia Bouguer residual; b. Principais *trends* obtidos com a análise do mapa magnético reduzido ao Equador.

A interpretação estrutural prévia dada pelos métodos potenciais está mostrada na Figura 13a, onde ocorre um alto, gravimétrico e magnético, situado na porção central da área estudada e alongado na direção SW/NE, delimitado por baixos gravimétricos e magnéticos a norte e a sul. Em ambos os casos, as anomalias podem estar sendo causadas por rochas do embasamento ou por sequências intrusivas nas camadas sedimentares (principalmente por soleiras de diabásio).

Estas interpretações preliminares, executadas com os métodos potenciais, apresentam forte correlação com os resultados já encontrados na região de estudo. Por exemplo, o 3D_PROGRAMA_2 está localizado

exatamente próximo a um campo de gás e condensado em fase de desenvolvimento (presença de acumulações de hidrocarbonetos), onde os mesmos *trends* estruturais estão presentes – ou seja, alto estrutural, com limites na direção SW/NE. Este exemplo está reproduzido na Figura 13b (Modificada de Dignart e Vieira, 2009), onde é mostrada uma linha sísmica ao longo da estrutura do “Poço-01”, cujas informações são de domínio público e podem ser encontradas em Dignart e Vieira, 2009.

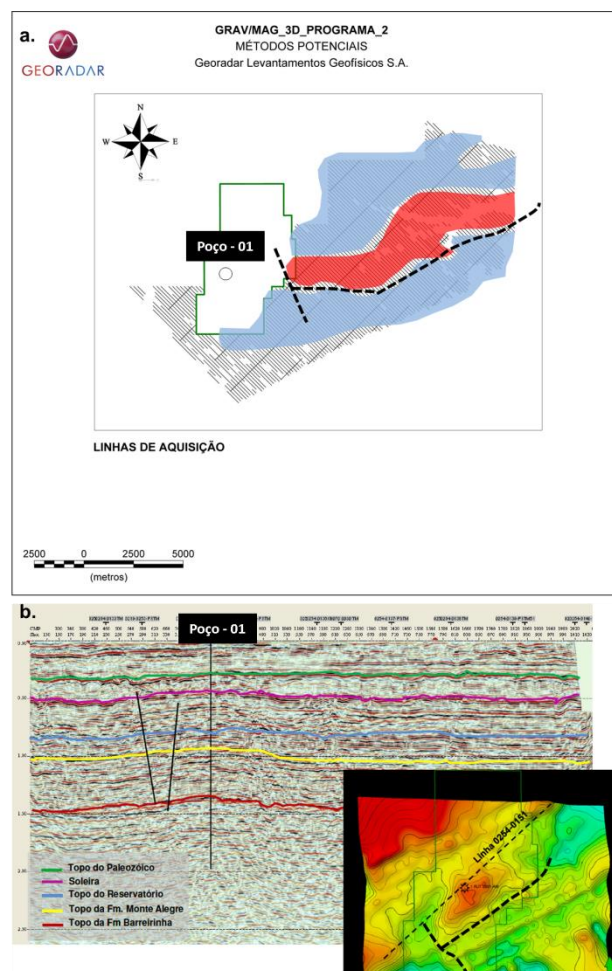


Figura 13 - Comparação da estrutura mapeada com os métodos potenciais (13a) e da estrutura já perfurada com sucesso na região adjacente (13b) – Poço-01 (modificado de Dignart e Vieira, 2009).

Considerações Parciais

De acordo com o conteúdo apresentado neste trabalho, foi possível observar que algumas técnicas aplicadas aos dados de métodos potenciais podem auxiliar no entendimento geológico. Porém, os resultados aqui apresentados devem ser mais bem avaliados, principalmente com maior integração com os dados sísmicos. Estes resultados são apenas uma prévia dos principais “*trends*” geológicos. É conhecida a

ambiguidade nas respostas observadas em dados de métodos potenciais, como no exemplo do alto gravimétrico e magnético apresentado neste trabalho (Figura 13a). Não necessariamente a resposta está associada a altos estruturais, mas sim, pode representar um aumento volumétrico de intrusivas ígneas, proximidade de rochas ígneas da superfície (soleiras ou diques de diabásio mais rasos), variações litológicas intra-embasamento (crosta ou manto). Para obtenção de resultados de interpretação mais confiáveis, é necessário que os dados dos métodos potenciais sejam integrados aos dados sísmicos, confirmando a existência dos *trends* estruturais aqui apresentados.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem à Georadar Levantamentos Geofísicos S.A. pela oportunidade de realizar e de publicar este trabalho. Em especial aos geofísicos do Controle de Qualidade e ao Corpo Técnico da Empresa. Os autores também agradecem ao apoio técnico de Eduardo Faria, Frank Falkenhein e Luiz Bampa;

Referências

- Barbosa, V.C., Batista, J.C., 2005. Deconvolução de Euler: passado, presente e futuro – um tutorial. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 23 (3), pg. 243-250.
- Cunha, P.R.C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L.F.C., Feijó, F.J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 8, n0. 1, p. 47-55.
- Dignart, A., Vieira, J.R., 2009. Décima Rodada de Licitações – Bacia do Amazonas. Acesso em: 20/03/2013 http://www.anp.gov.br/brnd/round10/arquivos/seminarios/STA_3_Bacia_do_Amazonas_portugues.pdf
- Gupta, V.K., Grant, F.S., 1985. Mineral-exploration aspects of gravity and aeromagnetic surveys in the Sudbury-Cobalt area, Ontario; in *The Utility of Regional Gravity and Aeromagnetic Anomaly Maps*, Society of Exploration Geophysicists, Special Volume, p.392-411.
- Krüger, F., Scherbaum, F., Rosa, J.W.C., Kind, R., Zetsche, F. Höhne, J. 2002. Crustal and Upper mantle structure in the Amazon Region (Brazil) determined with broadband mobile stations. *Journal Geophysical Research*, Vol. 107, B 10. P. 17-1 – 17-12;
- Munis, M.B. 2009. Caracterização Geomagnética do Gráben Purus e suas implicações na evolução das bacias do Solimões e Amazonas. Tese de Doutorado, UFRJ/COPPE, 2009. XII, 102p.
- Silva Dias, F.J.S., Barbosa, V.C.F., Silva, J.B.C., Vasconcelos, S.S., Oliveira, F.S., 2011. Adaptive learning 3D gravity inversion for salt-body imaging. *GEOPHYSICS*, VOL. 76, NO. 3, P. I49/I57.
- Spector, A., Grant, F.S., 1970, Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, Vol 35, No.2, p. 293-302.
- Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., SANTOS, J.O.S. *et al*, 2004, CPRM Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG e 46 folhas na escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROM.