

Contribuição dos resultados de dados gravimétricos e magnéticos terrestres para exploração de hidrocarbonetos – Exemplo nas Bacias do Amazonas e Solimões

Thiago Gomes dos Santos¹, Ariele Batisti², Manuelle Santos Góis²; Georadar Levantamentos Geofísicos S.A.

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th 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

In this paper some techniques for potential field data (gravity and magnetic) such as Spectral Analysis and Fourier Filters, will be presented and explained. The objective of this study is to show how gravity and magnetic data analysis can improve and add important contribution to Oil and Gas exploration. Through analysis of potential field data we can improve the geological interpretation of structural subsurface mapping, probably intrusion zones and better understanding about petroleum system. As an example we applied some geophysical processing techniques and enhancements over two datasets at Amazon and Solimões Basin, in Brazil.

Introdução

Dentre os métodos geofísicos utilizados na exploração de hidrocarbonetos (óleo e gás), os métodos potenciais (gravimetria, magnetometria e gradiometria gravimétrica) ocupam papel de destaque, sendo extensivamente aplicados à estudos regionais de bacia sedimentares e estudo de zonas intrusivas (Munis, 2009). Nos últimos anos alguns casos de sucesso da aplicação de métodos potenciais na redução de ambiguidades na interpretação sísmica para determinação da geometria de domos salinos, através da modelagem direta ou inversa (2D e/ou 3D) de dados potenciais (Silva et. al, 2011). Inserido neste contexto, este trabalho tem o objetivo de mostrar a contribuição dos resultados de dados gravimétricos e magnetométricos terrestres na exploração de hidrocarbonetos.

Para demonstrar como os resultados de dados de métodos potenciais podem contribuir para a exploração de hidrocarbonetos foram utilizados dois bancos de dados proprietários da GEORADAR, sendo estes dados adquiridos na Bacia do Amazonas e também na Bacia do Solimões, (Figura 1).

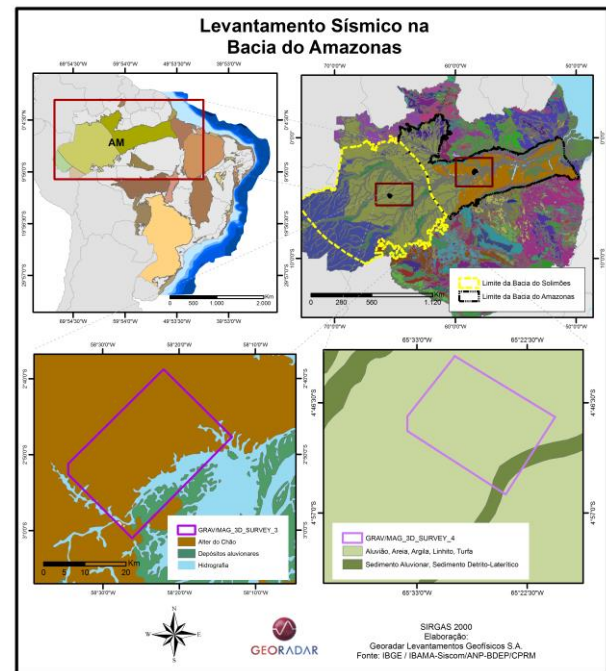


Figura 1. Localização das campanhas de aquisição de dados sísmicos, gravimétricos e magnéticos nas Bacias do Amazonas e Solimões pela GEORADAR sobrepostos ao mapa da geologia regional de superfície, (Schobbenhaus et. al, 2004).

Contexto Geológico Regional

As Bacias do Amazonas e Solimões estão localizadas na região norte do Brasil (sendo compreendida entre os estados do Amapá, Amazonas, Roraima e Rondônia). As duas bacias são vizinhas e classificadas como bacias paleozoicas intracratônicas. A Bacia do Amazonas está limitada a leste pelo arco de Gurupá e a Oeste pelo Arco de Purus onde faz divisa com a Bacia do Solimões (limite leste). O limite oeste da Bacia do Solimões é o arco de Iqitós, onde esta faz fronteira com a Bacia do Acre. Em termos de área total de cobertura sedimentar, as duas somam uma área estimada de 1.515.000 km².

Do ponto de vista tectono-estratigráfico as duas bacias apresentam intenso magmatismo (básico e ultra-básico) de idade Juro-Triássica. Este magmatismo é facilmente identificado devido a grande presença de diques e soleiras de diabásio na seção sedimentar, sendo que nas duas bacias, estas sequências intrusivas possuem papel fundamental no processo de maturação, como podemos observar na seção geológica esquemática da Bacia do Amazonas (Figura 3) fornecida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (Dignart e Vieira, 2009).

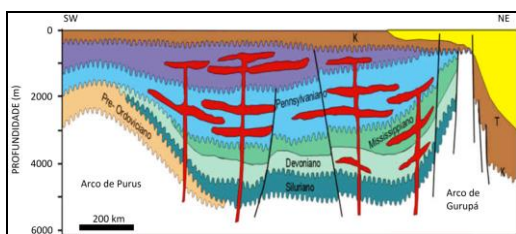


Figura 3. Seção geológica esquemática da Bacia do Amazonas – SW/NE.

O magmatismo também é observado na seção geológica esquemática da Bacia do Solimões (Figura 4) segundo Eiras, 1999 (apud Barata, et., al., 2007).

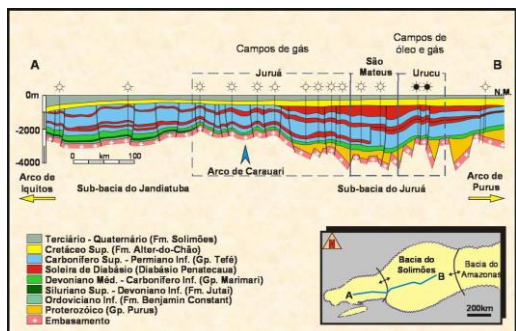


Figura 4. Seção geológica esquemática da Bacia do Solimões – SW/NE.

• Bacia do Amazonas

Com relação ao sistema petrolífero, a Bacia do Amazonas tem como principal rocha geradora os folhelhos radioativos de idade devoniana da Fm. Barreirinha.

São três os reservatórios principais, sendo os arenitos neodevonianos da Fm. Curiri (Marino-Glacial), arenitos eólicos da Fm. Monte Alegre (Carbonífero) e também arenitos da Fm. Nova Olinda (neocarbonífero). As rochas selantes para os sistemas petrolíferos da Bacia do Amazonas são três: Para os reservatórios devonianos, o principal selo são os folhelhos e diamictitos da Fm. Curiri; Para os reservatórios carboníferos (Fm. Monte Alegre) é selado pelos carbonatos da Fm. Itaituba; Para os reservatórios EoCarboníferos (Fm. Nova Olinda) é selado pelas seqüências evaporíticas também da Fm. Nova Olinda.

A Bacia do Amazonas por sua vez apresenta mais de um sistema de trapas, sendo os estruturais: Anticlinalis Assimétricos, Estruturas dômicas associadas ao bloco alto de falhas, Anticlinalis assimétricos associados a falhas reversas e também trapas estratigráficas - *pinch-out* e paleogeomórfica. Os exemplos de trapas da Bacia do Amazonas são mostrados na Figura 5.

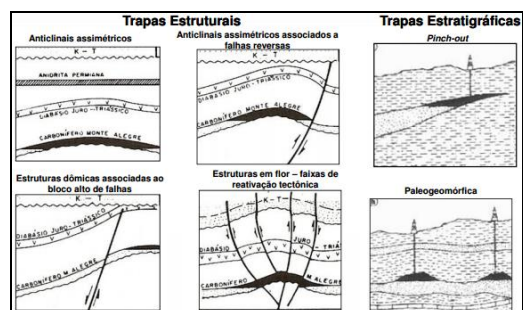


Figura 5. Exemplo de trapas encontradas na Bacia do Amazonas.

• Bacia do Solimões

Na Bacia do Solimões, o principal gerador são rochas de idade devoniana da Formação Jandiatuba. Vale ressaltar que em ambas as bacias (Amazonas e Solimões) as seqüências intrusivas (soleiras e diques de diabásio) possuem importante papel no processo de maturação da matéria orgânica, sendo sua presença determinante para o grau de maturação presente nas rochas geradoras.

O principal reservatório da Bacia do Solimões são os arenitos de idade carbonífera da Fm. Juruá – Arenitos eólicos na seção superior e arenitos flúvio-deltaicos da seção basal. As seqüências evaporíticas das formações Carauari e Juruá são os principais selos.

Os sistemas de trapas atualmente explorado na Bacia do Solimões são do tipo estrutural, predominantemente formada nos blocos altos de falhas reversas de direção SW-NE, ocorridas do megacisalhamento Solimões, resultando na acumulação de hidrocarbonetos nas anticlinalis assimétricas. O modelo de Geração-Migração-Acumulação pode ser observado pela seção esquemática (Mello 1994 apud Barata et., al., 2007), no qual podemos identificar os itens citados anteriormente do sistema petrolífero da Bacia do Solimões (Figura 6).

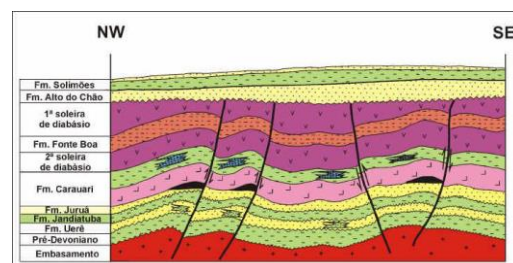


Figura 6. Modelo esquemático do sistema petrolífero explorado na Bacia do Solimões: Geração – Migração – Acumulação, Modificado de Mello 1994 apud Barata et., al., 2007.

Métodos Potenciais na exploração de Hidrocarbonetos

O primeiro método geofísico que se tem registro aplicado à exploração de hidrocarbonetos na América do Norte foi a gravimetria. Contudo, no decorrer dos anos o método foi substituído pelos métodos sísmicos como o principal método geofísico quando se trata de exploração de hidrocarbonetos. Contudo hoje o seu papel ainda continua de extrema importância como um vínculo adicional se tratando de informações indiretas (Nabighian et., al., 2005).

Além da gravimetria, a magnetometria também possui histórico relevante como método geofísico aplicado à exploração petrolífera, e devido à similaridade matemática a gravimetria, a maior parte dos desenvolvimentos feitos para um dos métodos é adaptada para o outro. A aplicação de ambos os métodos na exploração petrolífera é geralmente utilizada em bacias com províncias salinas e bacias que apresentam sequências intrusivas (Nabighian et., al, 2005).

Ao longo dos anos precisamente no século 20 e início do século 21, a instrumentação gravimétrica, bem como as metodologias de processamento, técnicas de interpretação, e principalmente avanços tecnológicos computacionais permitiram melhorias nos resultados obtidos com este método. Dentre os principais avanços com relação aos métodos gravimétricos podemos citar:

- Aquisição – Desenvolvimento da gradiometria gravimétrica (aérea e marinha), desenvolvimento da gradiometria magnética terrestre, desenvolvimento de equipamentos com maior sensibilidade;
- Processamento – Avanço computacional, desenvolvimento de novos algoritmos que permitiram o processamento de grandes volumes de dados;
- Interpretação – Desenvolvimento de técnicas, algoritmos de modelagem direta e inversa 2D e 3D;

No Brasil há diversos trabalhos na literatura de grande relevância na indústria da exploração petrolífera onde foram utilizados métodos potenciais integrados a outros métodos geofísicos, tais como: De Mio et., al, 2005 e Lima et., al, 2013 que construíram modelos regionais 2D da Bacia de Santos com base em dados de campos Potenciais (gravimetria e magnetometria). Munis, 2009 que utilizou métodos potenciais para caracterização do arco de purus e as implicações na evolução das bacias do Solimões e Amzonas.

Técnicas de processamento - Realce de dados Gravimétricos e Magnéticos

Mesmo depois de feitas as etapas de processamento para a obtenção das anomalias gravimétricas (ar livre e bouguer) e também a anomalia magnética, alguns tratamentos matemáticos auxiliam na interpretação geológica de superfície e subsuperfície dos dados de métodos potenciais. Tradicionalmente as aplicações de filtros de Fourier são os mais utilizados, pois fornecem resultados rápidos com relação a aspectos estruturais, tais como, zonas com falhas, identificação de sequências intrusivas, e limites entre domínios geológicos. Contudo, um dos maiores desafios se tratando da interpretação de dados de métodos potenciais é estimar a geometria (forma e profundidade) e também as propriedades físicas dos corpos geológicos causadores de suas anomalias.

Desta forma, a utilização da gravimetria e/ou magnetometria como as únicas fontes de informação indireta na exploração petrolífera é inviável devido à ambiguidade inerente a ambos os métodos.

Dentre as principais técnicas aplicadas aos dados de métodos potenciais, podemos citar:

a. análise espectral (Spector e Grant, 1970);

A técnica da análise espectral faz a estimativa da média das profundidades como 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 de uma distribuição de fontes não correlacionadas espacialmente.

b. Filtragem de Fourier 2D (Gupta e Grant, 1985);

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 monopolares, facilitando a compreensão das zonas que apresentam altos e baixos magnéticos;
- **Derivadas direcionais** – depois de transformar as anomalias magnéticas em monopolares, ao aplicar filtro de derivada, as zonas de falha e contatos geológicos são evidenciadas pelos valores máximos e mínimos apresentados no processo de derivação.

Para o dado gravimétrico apenas foi aplicada a remoção regional – residual utilizando o seguinte processo:

Separação regional / residual: É aplicado o filtro de continuação para cima – comprimento de onda de 40 km a fim de obter o grid de anomalia regional. Depois de obtido o grid regional, este é subtraído dos dados, resultando no grid residual, isto é, sem a influência dos longos comprimentos de onda.

O parâmetro de 40 km de comprimento de onda foi escolhido com base na profundidade crustal média na região do Cráton Amazonas, segundo Krüger et. al, 2002,

c. métodos automatizados de estimativa de profundidade de fontes (Barbosa et. al, 2005);

d. modelagem direta e inversa 2D e 3D (Silva et. al, 2011).

Neste trabalho, é apresentado as técnicas de processamento análise espectral e Filtragem de Fourier 2D para auxiliar na visualização e interpretação dos dados gravimétricos e magnéticos, de ambos os projetos (Bacias do Amazonas e Solimões).

Resultados Preliminares

I. Bacia do Amazonas

A partir da análise espectral dos dados magnéticos, foram estimados dois grupos de fontes de anomalias entre 700 m até 3.640 m de profundidade. As fontes mais profundas podem estar correlacionadas ao embasamento cristalino da bacia, já as fontes mais rasas possuem profundidade compatível com as sequências intrusivas. O

resultado da análise espectral feita no dado magnético pode ser observado nas Figuras 7a. e 7b.

Com a aplicação dos filtros de Fourier 2D nos dados gravimétricos, foi feita a separação regional-residual e após a obtenção do mapa de anomalia bouguer residual (Figura 8), isto é, sem a interferência das fontes crustais, foram aplicados os filtros de derivadas direcionais no intuito de interpretar qualitativamente os principais *trends* estruturais e também delimitar os possíveis corpos causadores das anomalias gravimétricas. Já nos dados magnéticos, foram aplicados os filtros de redução ao equador magnético – devido o dado estar localizado em baixa latitude magnética (Figura 9), e também o filtro do sinal analítico, com a finalidade de identificar os principais lineamentos magnéticos e a geometria dos corpos causadores das anomalias magnéticas.

O resultado da interpretação gravimétrica e magnética pode ser observado na Figura 10. No resultado, podemos observar uma importante fonte de anomalia na região central do levantamento. Como visto previamente, através do contexto geológico e também da análise espectral, as fontes de anomalias podem estar correlacionadas às sequências intrusivas presentes nas sequências sedimentares da bacia.

II. Bacia do Solimões

A análise espectral (Figura 11) revelou 3 grupos de fontes (3 diferentes inclinações no espectro de potência), indicando que as possíveis causas das anomalias magnéticas estão num intervalo de profundidade que varia de 560 m até aproximadamente 4.900 m, ou seja, profundidades compatíveis com as sequências intrusivas e profundidade do embasamento. Os mapas de anomalia gravimétrica bouguer residual e o mapa de anomalia magnética reduzida ao equador magnético podem ser observadas nas Figuras 12 e 13. As interpretações das principais feições gravimétricas e magnéticas dos dados da Bacia do Solimões podem ser vistas na Figura 14.

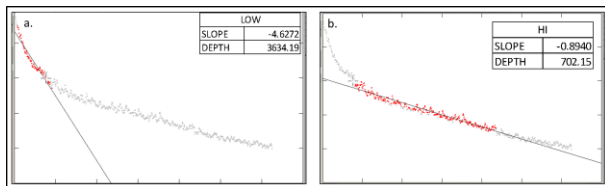


Figura 7. a. Espectro de potência com o cálculo da profundidade para baixa frequência do dado magnético; b. Espectro de potência com o cálculo da profundidade para alta frequência do dado magnético – Bacia do Amazonas.

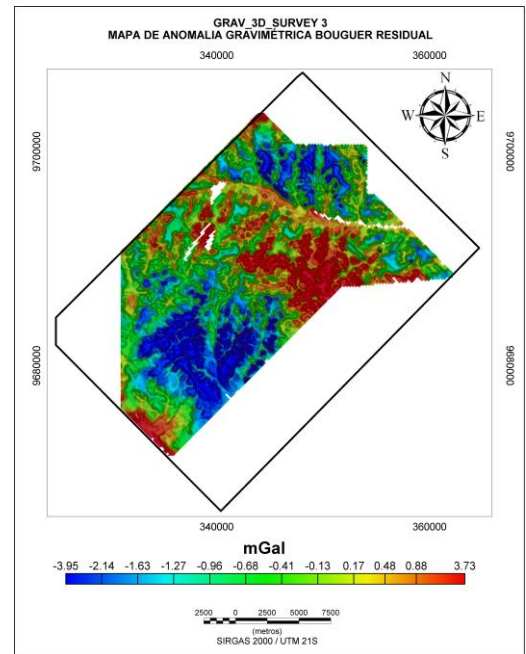


Figura 8. Mapa gravimétrico de anomalia bouguer residual – Bacia do Amazonas.

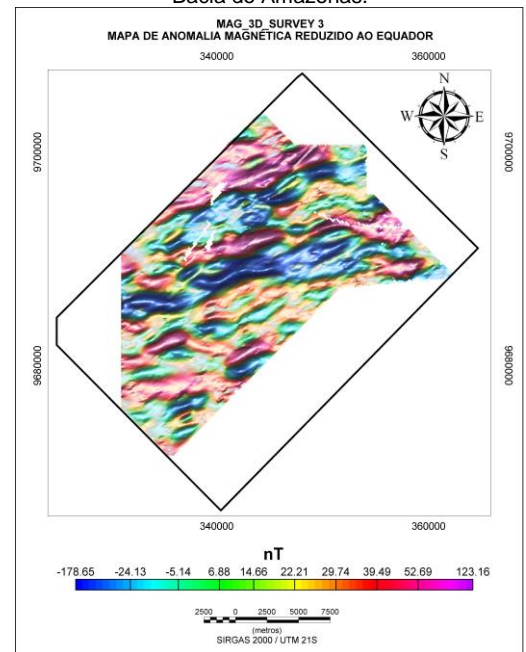


Figura 9. Mapa magnético reduzido ao Equador – Bacia do Amazonas.

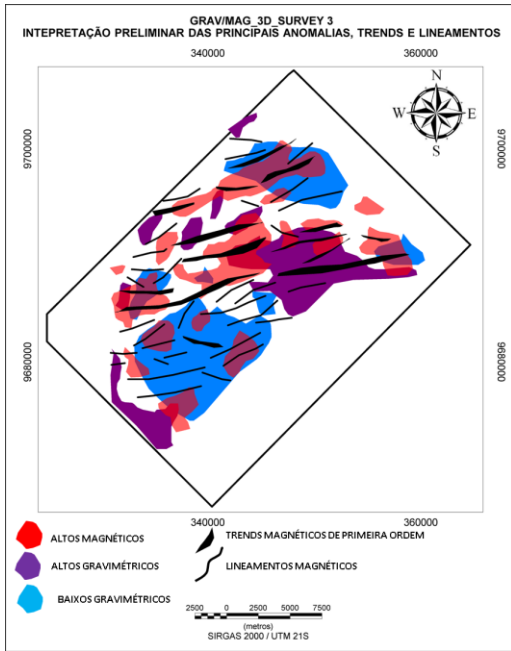


Figura 10. Feições gravimétricas e magnéticas delimitadas a partir dos altos e *trends* encontrados nos mapas de anomalia gravimétrica e magnética – Bacia do Amazonas.

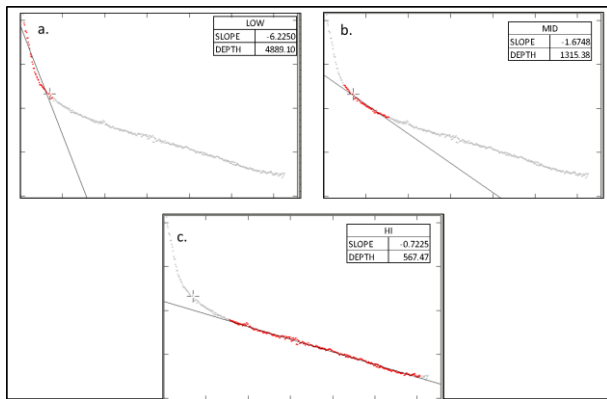


Figura 11. a. Espectro de potência com o cálculo da profundidade para baixa frequência do dado magnético; b. Espectro de potência com o cálculo da profundidade para frequências intermediárias do dado magnético. c. Espectro de potência com o cálculo da profundidade para alta frequência do dado magnético.

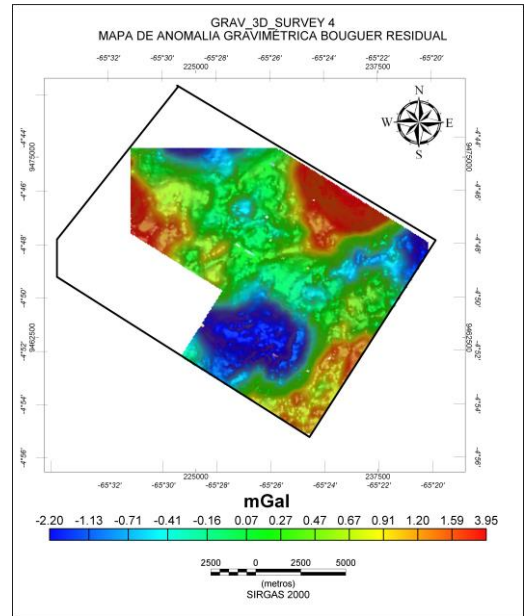


Figura 12. Mapa gravimétrico de anomalia Bouguer residual – Bacia do Solimões.

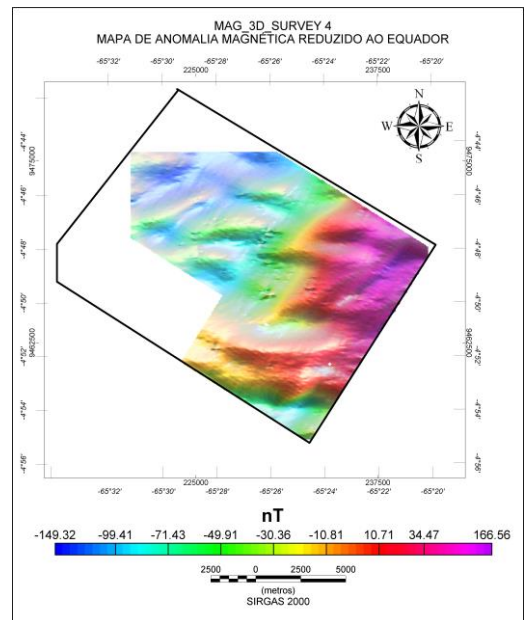


Figura 13. Mapa magnético reduzido ao Equador – Bacia do Amazonas;

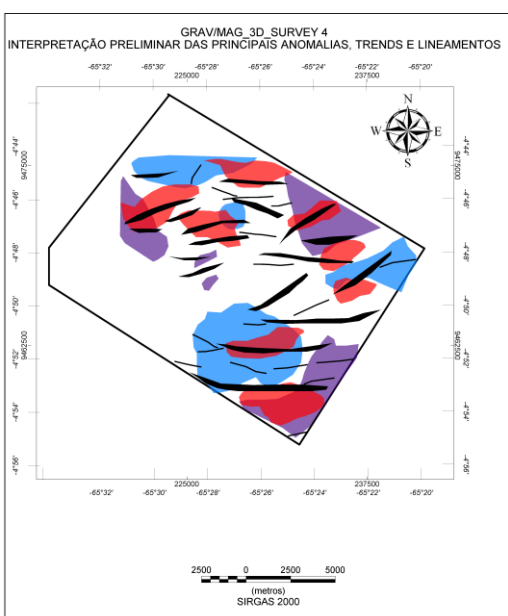


Figura 14. Feições gravimétricas e magnéticas delimitadas a partir dos altos e *trends* encontrados nos mapas de anomalia gravimétrica e magnética – Bacia do Solimões.

Considerações e recomendações

De acordo com os resultados obtidos nas Bacias do Amazonas e Solimões, análise espectral revelou que as profundidades médias das fontes gravimétricas e magnéticas variam entre 700 m até 5.000 m, estas profundidades são compatíveis com as sequências intrusivas (mais rasas) e profundidade do embasamento cristalino. Quando delineada as principais feições gravimétricas e magnéticas – altos e baixos, e também os principais *trends*, podemos observar que nos dados da Bacia do Amazonas as anomalias estão alinhadas preferencialmente na direção SW-NE, enquanto na Bacia do Solimões a direção das principais anomalias se dá na NW-SE.

Nos mapas de interpretação das principais feições, podemos observar que os altos magnéticos em geral possuem no entorno do seu centro, possíveis *trend* magnéticos, este fato pode indicar que os altos magnéticos estão correlacionados às sequências intrusivas, e o *trend* delineado corresponde ao sistema de falhas que serviu de conduto para o fluxo de material do manto até as sequências sedimentares.

Para confirmar estas observações, é recomendada a integração com seções sísmicas e também a análise de poços na região de ambas as bacias e também a aplicação das demais técnicas de métodos potenciais – tais como deconvolução de Euler e Modelagem 2D e/ou 3D.

Agradecimentos

À Georadar Levantamentos Geofísicos S.A.

Referências

Barata, C.F.; Caputo, M.V., 2007. Geologia do Petróleo da Bacia do Solimões. O “Estado da Arte”. 4 PDETRO, Campinas, SP, 21-24 de Outubro de 2007.

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.

De Mio, E. Chang, H.K., Corrêa, F.S., 2005. Integração de Métodos Geofísicos na modelagem crustal da Bacia de Santos. Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 23 (3) pg. 276-284

Dignart, A. e 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. and 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;

Lima, J.V., Mohriak, W., 2013. Análise regional geofísica e geológica das estruturas profundas na Bacia de Santos. Thirteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

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.

Nabighian, M.N., M.E. Ander, V.J.S. Grauch, R.O. Hansen, T.R. LaFehr, Y. Li, W.C. Pearson, J.W. Peirce, J.D. Phillips, and M.E. Ruder. 2005. The historical development of the gravity method in exploration. Geophysics 70:63ND–89ND.

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. 149/157.

Spector, A. and 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. CPRM, 2004. 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's.