



Modelagem gravimétrica e estudo integrado de dados geofísicos na região do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas.

Rosângela Buzanelli Torres

PETROBRÁS S/A

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate structural features based on geophysical data in the Tapajós river region (Amazon sedimentary basin). The research was based mostly on digital manipulation of geophysical images, gravimetric and magnetometric fields, and gravimetric model. Digital image processing improved the presentation of the data providing suitable means for the generation of new geologic information. Geoprocessing procedures allowed an integrated data analysis and a better understanding of their spatial and genetic relationships. This research made it possible to identify dense and magnetic bodies into the basement and to establish relationships between frequency, magnetic signature and depth of the bodies.

INTRODUÇÃO

A área de estudo abrange uma parte da Bacia do Amazonas, no Estado do Pará, entre as coordenadas planas norte 9501000 m - 9724000 m e leste 666305 m - 834000 m, Meridiano Central de 57° W (Figura 1). Este estudo faz parte de uma dissertação de mestrado (Torres, 1998) e aqui enfoca a investigação das feições estruturais impressas nos campos gravimétrico e magnético utilizando recursos de processamento digital de imagens, integração de dados e modelagem gravimétrica. Alguns trabalhos demonstram que, para os dados geofísicos potenciais, os mapas de contorno não são os produtos mais apropriados para a interpretação, sendo que a representação contínua colorida ou em níveis de cinza, com recursos de sombreamento, promovem maior riqueza de detalhes, sendo que as variações texturais são melhor percebidas se representadas em tons de cinza e as variações de intensidade através da distribuição contínua de cores (Drury e Walker, 1987; Kowalik e Glenn, 1987). O processamento digital de imagens aplicado ao Campo Magnético Total Anômalo permitiu o realce das feições ali impressas, facilitando sobremaneira sua interpretação qualitativa, quer seja na individualização das províncias, quer seja na identificação dos lineamentos.

MATERIAIS

Os materiais utilizados na presente dissertação estão a seguir relacionados:

- Mapas Geológicos do Projeto RADAMBRASIL, escala 1:1.000.000: Folha SA.21 e Folha SB.21;
- Mapa do Arcabouço Estrutural do Bloco Tapajós da Bacia do Amazonas, Travassos e Barbosa Filho (1990);
- Perfis litológicos de poços;
- Mapa de isólitais de diabásio (espessura total) da seqüência permo-carbonífera, escala 1:1.000.000 - PETROBRÁS/E&P-AM;
- Dados digitais gravimétricos em grade regular 2x2 km (PETROBRÁS/E&P-AM);
- Dados digitais aeromagnetométricos em formato XYZ e/ou grade regular referentes aos Projetos Santarém, e Sul do Pará.

Os dados gravimétricos, valores Bouguer, foram fornecidos pela PETROBRÁS / E&P-AM em uma grade regular de 2x2 km, gerada a partir de dados adquiridos no campo em malha irregular. Os dados do campo magnético da área envolvem dois levantamentos aeromagnetométricos distintos, Projeto Sul do Pará e Projeto Santarém Leste, levantados para a CPRM e PETROBRÁS, respectivamente (Tabela I), que gentilmente os cederam.

Tabela I – Características dos levantamentos aeromagnetométricos.

PROJETO	SUL DO PARÁ (1974)	SANTARÉM LESTE (1982)
Altura de Vão (m)	150	800
Direção de Linhas de Produção	Norte-Sul	Norte-Sul
Espaçamento entre linhas de produção (km)	4	3
Direção das linhas de controle	Leste-Oeste	Leste-Oeste
Espaçamento entre linhas de controle (km)	20	18
Espaçamento médio de amostras ao longo da linha (m)	100	50 e 100

Os processamentos geofísicos aplicados foram: remoção DGRF; filtro passa-baixas; nivelamento; continuação para cima (2 km); redução ao pólo e integração das grades através de operações booleanas. A aplicação do CNUP (Continuação para cima) para 2km visou integrar as grades e suavizar a forte influência das fontes rasas. A seguir aplicou-se o REDP (redução ao pólo) com diferença de fase de 70°, para mitigar os problemas de instabilidade gerados a baixas latitudes, resultando, basicamente, na inversão de polaridade das anomalias originais. Às imagens obtidas a partir dos dados geofísicos, foi aplicado um aumento linear de contraste (ALC), através da manipulação de histograma, melhorando a distribuição dos níveis de cinza (NC). Nessas imagens assim realçadas, aplicou-se três diferentes LUT's para colorização. O processo consiste em realçar diferentemente três regiões da distribuição dos níveis de cinza (NC), atribuindo a cada região, em uma composição RGB (Red, Green, Blue), uma cor primária. Obtém-se, assim, uma distribuição contínua de cores entre o azul (valores baixos NC) e o vermelho (valores altos de NC), passando por matizes intermediários (verde e amarelo). A colorização de imagens pode resultar como produto a cromoestereoscopia, a partir da construção de óculos com prismas refrativos duplos (ChromaDepth). Este processo, baseado nas leis da refração da luz, combina a visão da cor com a percepção de profundidade. Uma discussão qualitativa desse processo pode ser obtida em Toutin (1997). Neste trabalho o melhor resultado para cromoestereoscopia foi obtido nas imagens do Campo Magnético Total Anômalo. Ainda à imagem magnética, foi aplicado sombreamento sintético, através do programa Sombra, iluminando o dado com azimute de 90° e com inclinação de 45°, realçando, assim, feições importantes do relevo magnético. Por fim utilizou-se uma composição IHS (Intensity, Hue, Saturation) nessas imagens do Campo Magnético Total Anômalo, associando assim, à mesma imagem, características texturais e tonais (Figura 2).

ANÁLISE DOS DADOS

Alguns trabalhos (Linsser, 1958; Nunn e Aires, 1985,1988 ; Fischler et al., 1997) estudando cadeias de altos gravimétricos em bacias sedimentares ressaltaram que tais feições não poderiam ser explicadas pela presença de corpos intrabaciais, considerando a grande amplitude das anomalias, propondo tais autores que esses altos, de características suaves, corresponderiam a massas intraembasamento. O mapa de anomalias Bouguer apresenta, na área de estudo, dois altos distintos próximos ao eixo da bacia (Figura 3). Com base nos parâmetros propostos no trabalho de Nunn e Aires (1988), realizou-se, através do programa GM-SYS do GEOSOFT (Geosoft, 1994) uma modelagem gravimétrica a partir de três perfis selecionados na grade, os quais interceptam tais anomalias. A espessura crustal inicial trabalhada foi de 50 km; a profundidade máxima da bacia foi considerada 7 km. Os parâmetros referentes à densidade foram:

- rochas sedimentares: 2,55 g/cm³ (média da densidade de vários poços);
- crosta continental superior: 2,75 g/cm³ (estimada por análise de velocidade sísmica);
- crosta continental inferior: 2,85 g/cm³ (estimada por análise de velocidade sísmica);
- corpo intrusivo: 3,0 g/cm³ (compatível com piroxenito amostrado em poço);
- manto superior: 3,3 g/cm³.

Os perfis modelados indicam como resultado a substituição ou intrusão de massas através da crosta inferior e atingindo parcialmente a crosta superior, conforme proposto pelos autores supra citados. O modelo admite uma bacia com profundidade máxima local de 7 km, limites entre crosta superior e inferior em torno de 20 km e entre crosta inferior e manto em torno de 48 km. Os resultados obtidos apontam para o corpo a oeste, perfil 1, uma profundidade de cerca de 15 km e, para o corpo a leste, perfil 2, uma profundidade de cerca de 8 km, confirmadas pela modelagem na direção leste-oeste, perfil 3 (Figura 4).

A análise quantitativa dos dados magnéticos foi realizada através do espectro de potência do Campo Magnético Total Anômalo e permitiu inferir algumas profundidades médias aproximadas e as fontes associadas, quais sejam: 0,1 km e 0,5 km, diabásios rasos; 7,0 km, embasamento; 20,0 km, Temperatura Curie (Figura 5). Uma característica marcante na área de estudo é a influência de fontes rasas e a sobreposição destas com fontes mais profundas. O Campo Magnético Total Anômalo pôde ser mapeado de acordo com as diferentes assinaturas magnéticas, com base nos critérios de similaridade de conteúdo de frequências e respectivas amplitudes, em quatro províncias distintas (Figura 6). Poços na área, atingindo diferentes profundidades, mas não o embasamento, com exceção do 1-FO-1-PA, testemunham a presença de diabásio (Tabela II), confirmando muitas interpretações e mostrando uma estreita relação entre conteúdo de frequências e profundidade de fonte.

Tabela II – Províncias magnéticas e poços associados.

Província	Δ amplitudes (nT)	Poços	Profundidade (m)	
P1	+80 a +300	1-TU-1-PA; 1-SP-1-PA; 1-TA-1-PA	700	Significativo alto magnético com sobreposição de fontes profundas
P2	-30 a +120	1-TR-1-PA 1-BU-1-PA 1-AB-1-PA 2-CPST-1-PA	1062 540 127 13	Anomalias grosseiramente alongadas segundo a direção leste-oeste maior conteúdo de altas frequências, lineamentos de menor extensão
P3	-150 a + 20	1-FO-1-PA AC-1-PA 1-BR-1-PA	Subaflorante 1095 1192	Domínio de baixos magnéticos Lineamentos magnéticos são menos frequentes
P4	-85 a +115			altos mag. Associados ao embasamento

Os lineamentos magnéticos, extraídos da imagem sombreada, apresentam extensões variando de algumas unidades a dezenas de quilômetros e orientam-se nas direções: NE-SW, E-W e NW-SE (Figura 6). A análise estatística das

direções dos lineamentos magnéticos, através do programa ANALIN do SGI, mostra, no quadrante NE, lineamentos distribuídos na faixa N40-90E, com concentrações nas faixas N50-60E e N80-90E. No quadrante NW, tais feições estão distribuídas nas faixas N40-60W e N80-90W

ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS

A análise integrada dos dados geofísicos, através da sobreposição dos campos Magnético Total Anômalo e gravimétrico (Bouguer), mostra uma coincidência entre as regiões dos grandes altos (Figura 7), sugerindo tratar-se de uma mesma fonte. Podem ser observados dois altos gravimétricos definidos e pronunciados e uma região magneticamente alta, muito forte a leste e menos pronunciada a oeste. Boa Hora (1985) relatou a proximidade dos eixos gravimétricos e do gradiente magnético, relacionando-a à presença de corpos magnéticos e densos. Recorrendo à modelagem gravimétrica, foram constatadas, no presente trabalho, duas profundidades distintas para os dois corpos (a leste, cerca de 8 km; a oeste, cerca de 15 km; Figura 4). Este resultado pode explicar o comportamento magnético diferenciado nos extremos leste e oeste do grande alto, condicionado tanto pela profundidade dos corpos como também pelos seus volumes, limitados pela isoterma Curie, estimada na área em cerca de 20 km de profundidade. Tais resultados reforçam a hipótese da relação genética das fontes, relacionadas a corpos densos e magnéticos. A coincidência geográfica das fontes profundas e das maiores espessuras de diabásio (Figura 2) sugere uma relação genética entre as mesmas, suposta por Miranda e Boa Hora (1984) e por Misuzaki et al. (1992). Estes últimos apontam indícios de câmara magmática rasa para os diabásios. A sobreposição dos campos gravimétrico e magnetométrico com o arcabouço estrutural sísmico (Travassos e Barbosa Filho, 1990) mostra uma coincidência entre a região de deformação "terciária" e as regiões dos altos magnéticos e gravimétricos (Figura 2).

CONCLUSÕES

A análise isolada e principalmente integrada dos diferentes dados permitiu o estabelecimento de algumas conclusões sobre o arcabouço estrutural da área de estudo.

1- A modelagem gravimétrica e a análise integrada dos dados magnéticos e gravimétricos apontam para intrusões intraembasamento de massas densas e magnéticas a profundidades de cerca de 8 km (a oeste) e 15 km (a leste). Esses corpos provavelmente desenvolveram importante papel reológico e estrutural durante os esforços tectônicos na bacia e devem ter atuado como dutos alimentadores do vulcanismo Eojurássico, o que é consistente com a proposta de Misuzaki et al. (1992);

2- A resposta magnética da bacia é dominada pelas rochas vulcânicas (Figura 2) e está muito condicionada à profundidade das fontes, que mostra uma relação estreita com o conteúdo de frequências e com os lineamentos magnéticos, sugerindo que essas estruturas mapeadas estejam impressas nos diabásios.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à PETROBRÁS, ao INPE e especialmente aos colegas Benedito Souza e João Bach pelo inestimável auxílio neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boa Hora, M. P. Interpretação qualitativa preliminar, Projeto Maués - Santarém Leste. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1985. (Relatório Interno).

Drury, S. A. ; Walker, A. D. Display and enhancement for gridded aeromagnetic data of the Solway Basin. International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 10, p. 1433-1444, Oct. 1987.

Fischler, C.; Rundhovde, E.; Johansen, S.; Saether, B. M. Barents Sea tectonic structures visualized by ERS - 1 satellite gravity data with indications of an offshore Baikalian trend. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), v. 21, n. 11, p. 355-363. 1997.

Geosoft Incorporation. Geosoft Mapping and processing system. Toronto, 1994.

Kowalik, W. S. ; Glenn, W. E. Image processing of aeromagnetic data and integration with Landsat images for improved structural interpretation. Geophysics, v. 52, n. 7, p. 875-884, Jul. 1987.

Linsser, H. Interpretation of the regional gravity anomalies in the Amazonas area. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1958. (Relatório Interno).

Miranda, F. P. ; Boa Hora, M. P. Interpretação integrada de dados aeromagnetométricos e de sensoriamento remoto na Região de Santarém. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 33., Rio de Janeiro, 1984. Anais. Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 4, p.1979-1992.

Mizusaki, A. M. P.; Wanderley Filho, J. R.; Aires, J. R. Caracterização do magmatismo básico das bacias do Solimões e Amazonas. *Rio de Janeiro: Petrobrás, 1992. (Relatório Interno).*

Nunn, J.; Aires, J. R. Subsidence and tectonic evolution of the Middle Amazon Basin. *Rio de Janeiro: Petrobrás, 1985. (Relatório Interno).*

Nunn, J.; Aires, J. R. Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at Middle Amazon Basin, Brasil. *Journal of Geophysical Reserch, v. B1, n. 93, p. 415-428, Jan. 1988.*

Toutin, T. Qualitative aspects of chromo - stereoscopy for deph perception. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v.63, n. 2, p. 193-203, Feb. 1997.*

Torres, R.B. Contribuição ao estudo do arcabouço estrutural da área do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas, através da análise integrada de dados de topografia, geologia, magnetometria, gravimetria e sensoriamento remoto. *Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, 1998.*

Travassos, W. A. S.; Barbosa Filho, C. M. Tectonismo terciário na área do Rio Tapajós, Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 4, n. 3, p. 299-314, Jul./Set. 1990.*