

5 INTERPRETAÇÕES

Este capítulo apresenta os principais riscos a serem considerados nos processos de interpretação geológica dos dados Gravimétricos e Magnetométricos. O interprete de métodos potenciais deve considerar cada um dos itens abaixo descritos durante as modelagens e as inversões que submeter ao dado objetivando a geração de conhecimento geológico.

5.1 Critérios de Risco na Interpretação do Dado Gravimétrico

Os riscos associados à interpretação de dados provenientes de um levantamento AG são principalmente controlados pelos seguintes fatores (BLAKELY, R. J., 1995):

- a) **Anomalias de borda do levantamento** – a transformação dos gradientes de curvatura medidos para gradiente vertical e gradiente de gravidade vertical está sujeita aos efeitos de borda. Portanto, quaisquer anomalias situada acerca de duas vezes o espaçamento de linhas, de borda do levantamento, deverão ser tratadas com cuidado.
- b) **Anomalias de única linha** – para um levantamento com grande espaçamento, uma anomalia poderá estar presente em uma linha somente. Embora possa ser uma anomalia genuína, o interprete deve observar que nenhum controle bidimensional pode ser aplicado.
- c) **Anomalias de baixa amplitude (menos que 2σ)** – Estão dentro do envelope de ruído e necessitam ser tratadas com cuidado, caso sejam anomalias de única linha e próximas do diâmetro dos comprimentos de onda de corte usados.
- d) **Anomalias de erro topográfico residual** – Uma correção topográfica incorreta, devido a um Modelo Digital do Terreno (MDT) impreciso ou devido a variações locais da densidade do terreno podem produzir anomalias. Comparar o MDT com o mapa *Free air* correção do terreno para diferentes densidades é um método confiável para confirmar a legitimidade de uma anomalia.

- e) **A baixa densidade dos sedimentos de água e de lagos** (caso presente) podem criar significativos baixos de gradientes de gravidade e de gravidade, que podem não estar relacionados à geologia do embasamento. Recomenda-se que todas as anomalias localizadas dentro de lagos ou sob a água sejam tratadas com cuidado e avaliadas com consulta à batimetria, caso disponível.

5.2 Critérios de Risco na Interpretação dos Dados Magnetométricos

Os riscos associados a interpretação de dados provenientes de um levantamento magnetométrico são principalmente controlados pelos seguintes fatores (WILLIAM J., 2012).

- a) **Anomalias de borda do levantamento** – Anomalias localizadas em bordas de levantamento podem ou mesmo, ser decorrente de um efeito gerado por tendências não vinculadas geologicamente na interpolação do dado.
- b) **Anomalias de única linha** – Para um levantamento com grande espaçamento, uma anomalia poderá estar presente em uma linha somente. Embora possa ser uma anomalia genuína, o interprete deve observar que nenhum controle bidimensional pode ser aplicado. Adicionalmente a repetibilidade e/ou redundância são sempre um fator de confiabilidade na confirmação de um valor, ou conjunto de valores anômalos.
- c) **Assimetria das Anomalias** – No caso da magnetometria, a simetria/geometria de uma anomalia depende, além do teor (contraste) de magnetita, da geometria e profundidade, de fatores como data e localização do levantamento, ou seja, para a efetiva modelagem do corpo ou estrutura é preciso considerar fatores como inclinação e declinação magnética, já que resposta de uma mesma feição varia em função da “latitude magnética” do levantamento.
- d) **Propriedade medida - Teor de magnetita** – Sempre considerar que a resposta anômala representa variação do conteúdo/teor de magnetita que pode ou não estar presente nas rochas ou estruturas da bacia. Diferentemente da densidade que é uma propriedade intrínseca dos corpos e que tem um range mais curto de variação dentre as diferentes rochas da

crosta, a susceptibilidade magnética varia drasticamente em rochas que possuam em sua assembleia mineralógica: Magnetita, Maghemita e Pirrotita.

- e) **Magnetização remanescente** – Considerar que a feição mapeada/modelada foi magnetizada com o campo atual, quando, na verdade, ela foi magnetizada em condições de campo diferentes da atual.

6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados das interpretações sobre os diversos mapas gerados com os procedimentos descritos acima, considerando os critérios listados do capítulo 5. Diversas feições estruturais e litológicas foram delimitadas e são apresentadas ao longo do presente capítulo (CAMPBELL, D.L., 1983).

6.1 Resultados e Discussões

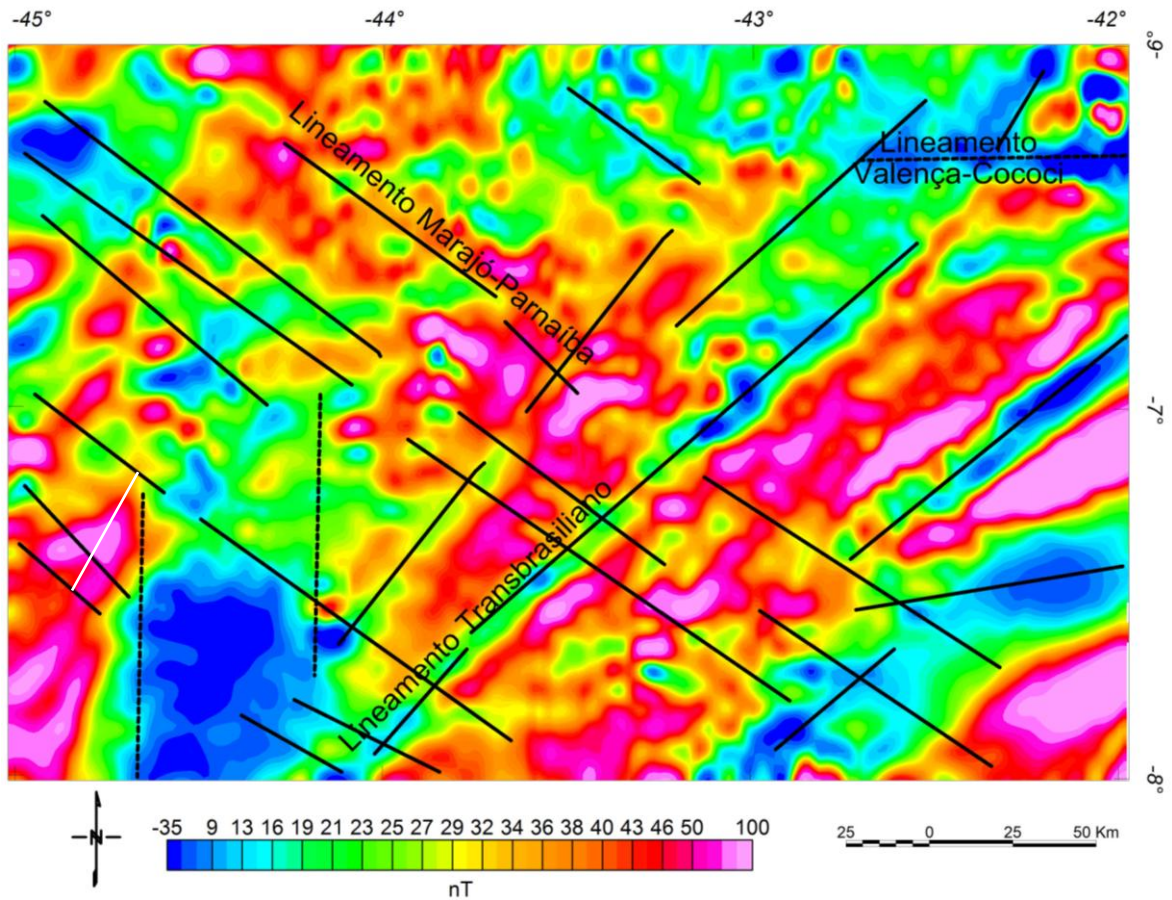
6.1.1 Mapas e Interpretações – Magnetometria

As principais contribuições da magnetometria em projetos de exploração podem ser resumidas em três itens (Colin Reeves, 2005): confecção de mapa estrutural, mapeamento de rochas ígneas e cálculo de profundidade do embasamento. Para adequação do escopo, o presente trabalho, limitou-se a detalhar o mapa estrutural da área em estudo.

Para interpretação e mapeamento da distribuição na definição de feições estruturais na área do levantamento foram selecionados o mapa de Intensidade Magnética Total Reduzido ao Pólo (Figura 19), e a 1ª Derivada Vertical RTP (Figura 21).

O Mapa do Campo Magnético Total removido do IGRF (Figura 19) mostra uma compartimentação regional e profunda seguindo o *trend* estrutural de direção sudoeste-nordeste. Mesmo sem aplicação de filtros de realce, é possível observar a ocorrência de feições de alta frequência na porção leste e sudoeste do mapa, sendo que a sudoeste as feições são mais delgadas e limitadas.

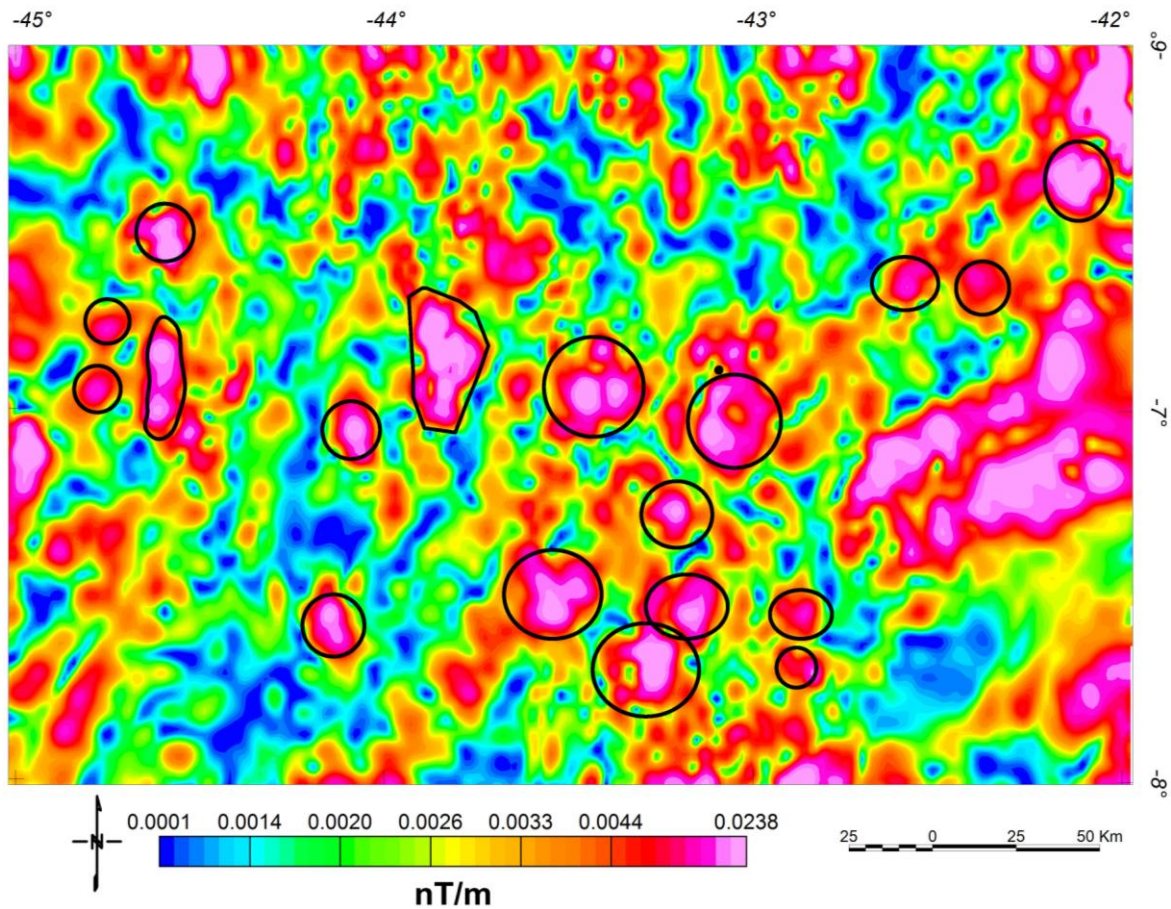
Figura 19 – Mapa do TMI-RTP com algumas feições Interpretadas.



Fonte: O autor, 2017.

O Mapa do Sinal Analítico é utilizado para uma interpretação qualitativa normalmente relacionadas às intrusões ígneas, sills e/ou soleiras, como mostra a Figura 20. que não faz parte do escopo deste trabalho. Entretanto realçamos no mapa a resposta desta técnica evidenciando a presença de uma certa população de rochas intrusivas caracterizadas pelas altas frequências e normalmente feições circulares a alongadas.

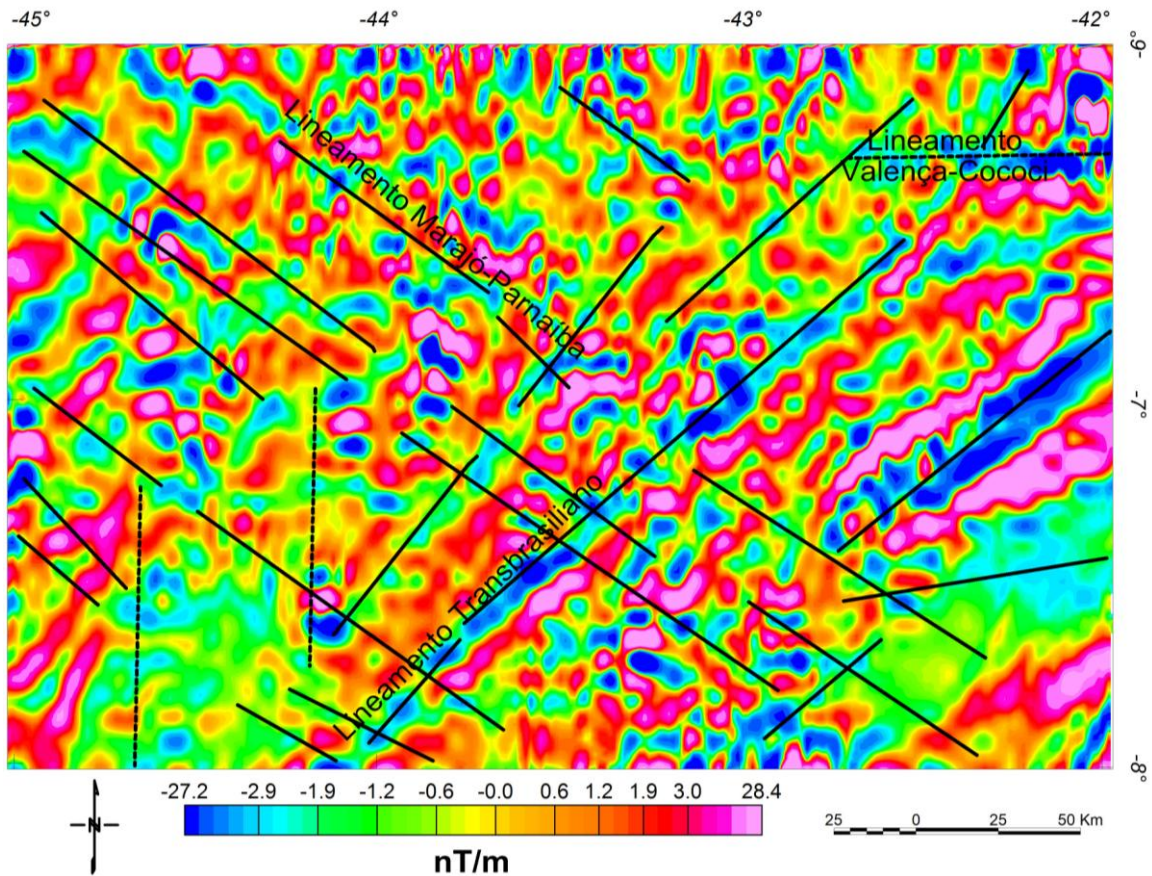
Figura 20– Mapa do Sinal Analítico-RTP com Interpretação Superficial.



Fonte: O autor, 2017.

A primeira derivada vertical realça anomalias magnéticas com pequeno comprimento de onda, por vezes causadas por feições sedimentares e de embasamento raso, e suprime as anomalias de grandes comprimentos de onda que se iriginam de feições profundas e/ou regionais. Considerando que a exploraçãode hidrocarbonetos está focalizada principalmente na seção sedimentar e na estrutura do embasamento subjacente, isto pode ser um realce muito útil na interpretação estrutural. O Mapa da Primeira Derivada Vertical (VERDUZCO, B., 2004) realça os lineamentos magnéticos estruturais interpretados na Figura 21.

Figura 21 – Mapa da primeira derivada vertical do TMI Interpretado.

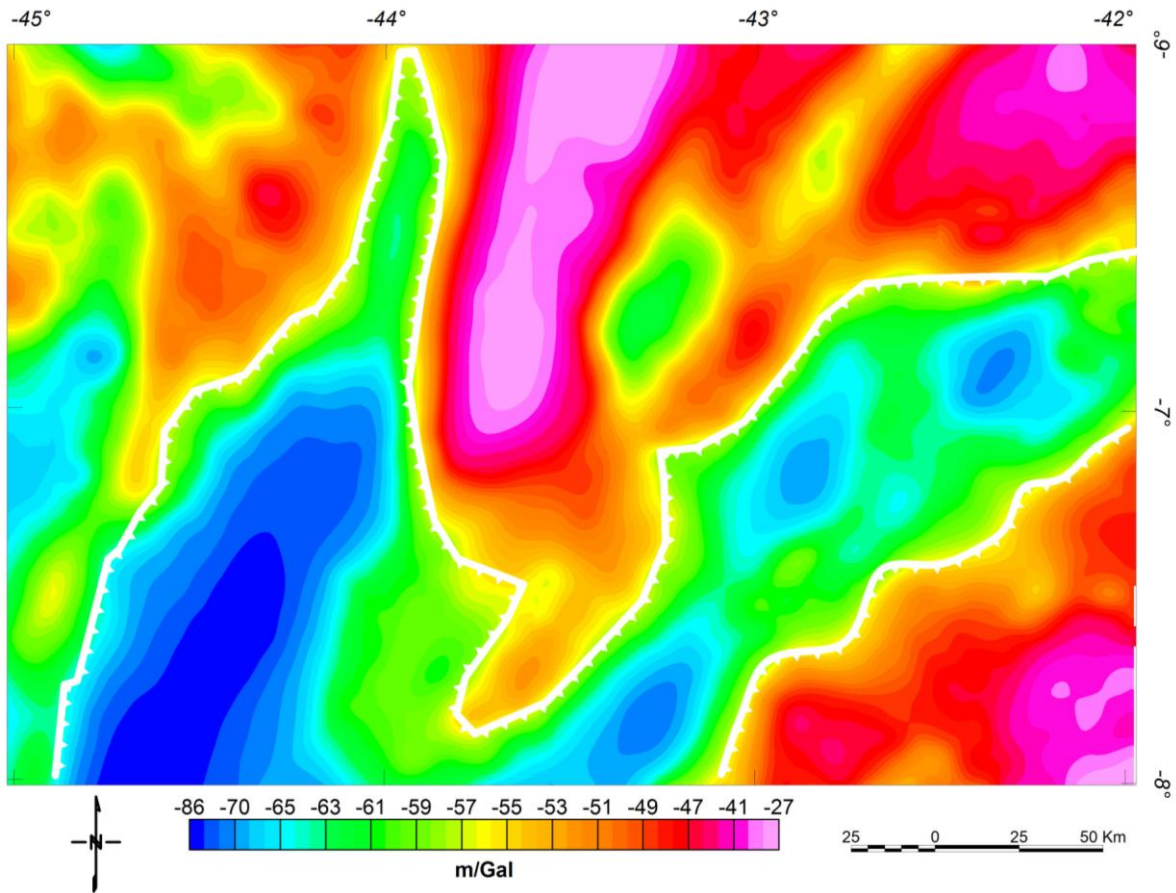


Fonte: O autor, 2017.

6.1.2 Mapas e Interpretações – Gravimetria (BREVILLEGE, G. L. et alii. 1977)

As principais contribuições da Gravimetria em projetos de exploração podem ser resumidas em três itens: mapeamento do espessamento e afinamento de camadas mais densas, mapeamento estrutural (*grabens e horsts*), mapeamento de Rochas ígneas com espessuras expressivas, modelamento da espessura de camadas das principais formações e, de forma vinculada, cálculo de profundidade do embasamento. Para adequação do escopo, o presente trabalho limitou-se a detalhar os três primeiros usos da técnica listados anteriormente.

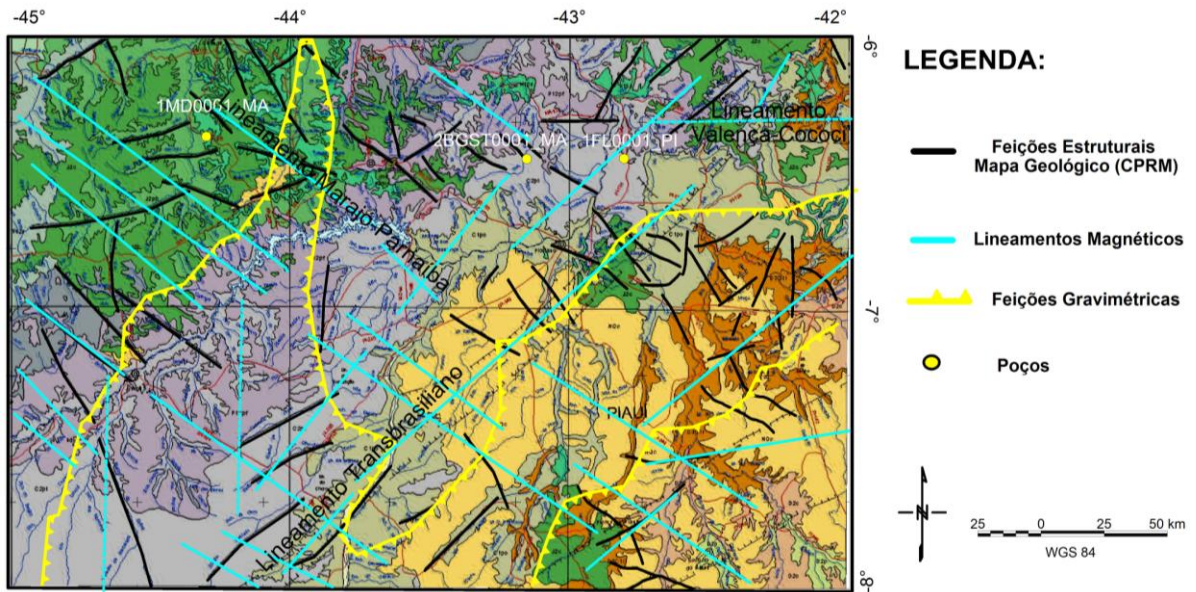
Mapa Gravimétrico da Anomalia Bouguer Interpretado, onde apresenta altos e baixos gravimétricos relacionados possivelmente a estruturas profundas do embasamento (Figura 22). Os baixos gravimétricos são áreas menos densas e propícias à exploração de hidrocarbonetos.

Figura 22 – Mapa da Anomalia *Bouguer* interpretado.

Fonte: O autor, 2017.

De posse da interpretação qualitativa dos métodos geofísicos, as informações integram-se ao mapa geológico existente (CPRM), onde se observa grande contribuição destes métodos para o entendimento do arcabouço estrutural da área em estudo (GLENN, W. E., E BADGE, R. A., 1998), tal como indicado na Figura 23.

Figura 23 - Mapa Geológico integrado com as feições magnéticas e gravimétricas.



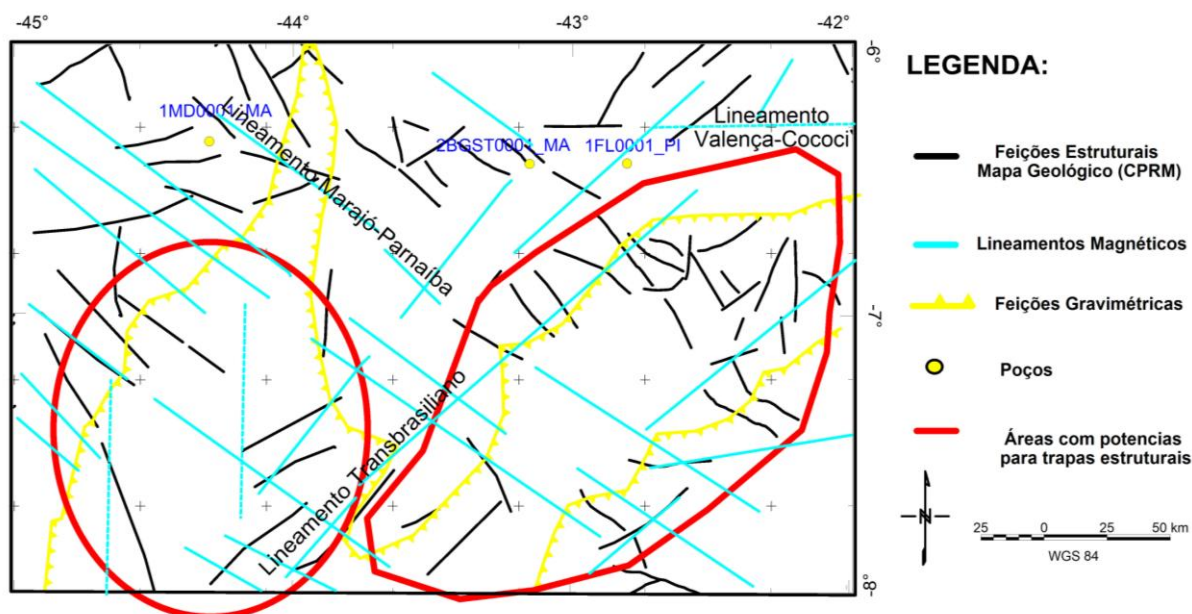
Fonte: O autor, 2017.

NQc	Depósitos Coóvio-Elúvio: sedimentos arenoso, areno-argiloso e conglomerático		
K1js	Formação Sardinha: basalto e diabásio 127-118 Ma K-Ar		
Grupo Mearim			
J2c	Formação Corda: arenito, argilito e folhelho. Ambiente desértico, fluvial e lacustre.	J2pb	Formação Pastos Bons: arenito, folhelho e calcário. Ambiente desértico, fluvial e lacustre.
Grupo Canindé			
C1po	Formação Poti: arenito, folhelho e siltito. Ambiente deltaico e litorâneo.	T12s	Formação Sambaíba: arenito bimodal com estratificação cruzada de grande porte. Ambiente desértico, dunas eólicas
D3C1	Formação Longá: folhelho e siltito. Ambiente marinho raso.	P3m	Formação Motuca: arenito, siltito, folhelho, calcário e evaporito. Ambiente desértico, lacustre.
D2c	Formação Cabeças: arenito e siltito. Ambiente fluvial, estuário marinho raso.	P12pf	Formação Pedra-de-Fogo: arenito, folhelho, calcário e silexito. Ambiente marinho raso e litorâneo.
D2p	Formação Pimenteiras: arenito e siltito. Ambiente marinho raso.	C2pi	Formação Piauí: arenito, siltito, folhelho calcário. Ambiente continental fluvial e litorâneo com intercalações marinhas.

Fonte: Cartografia Geológica Regional ao Milionéssimo (CPRM).

Com base na interpretação qualitativa dos métodos geofísicos supracitados, foi gerado um mapa do arcabouço estrutural proposto com a integração geológica (CPRM), gravimétrica e magnética (Figura 24). De posse deste mapa nos possibilita selecionar área com o potencial estrutural para a prospecção de hidrocarbonetos (BHATTACHARYYA, B. K.; LEU, L. K. 1977).

Figura 24 – Mapa integrado das feições geológicas, magnéticas e gravimétricas.



Fonte: O autor, 2017.

O mapa sugere uma compartimentação estrutural dentro da área do levantamento através da individualização de altos e baixos gravimétricos, que se forem correlacionáveis com embasamento podem representar subáreas dentro de uma estrutura *Grábens e Horsts*.

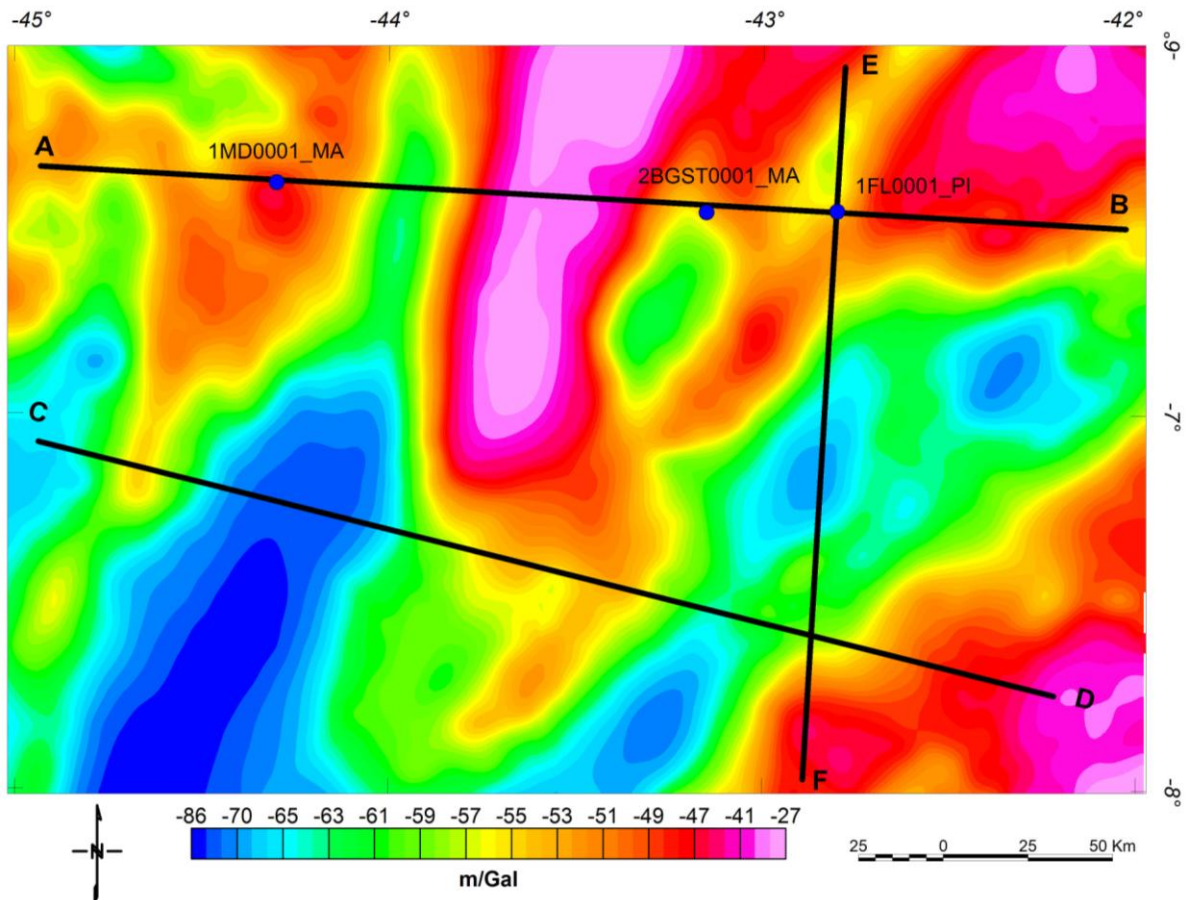
Na bibliografia também interpretados como grabenformes (estruturas profundas, interpretadas por (GÓES *et al.*, 1993). Para tal seriam necessários trabalhos complementares de modelagem e inversão, e ainda uma integração com dados sísmicos. Caso não haja correlação clara, tais feições podem representar apenas um afinamento ou espessamento de formações mais densas.

6.2 Modelagem Gravimétrica e Magnetométrica 2D

Para a realização da modelagem, foi utilizado os dados da gravimetria, extraídos do mapa *Bouguer* (Figura 25) e do mapa da intensidade magnética total reduzido ao pólo (Figura 26), para fazer uma modelagem direta e estipular a profundidade do embasamento, onde foi utilizada uma densidade 2,75 para estruturas grabenformes, 2,67g/cm³ para rochas do embasamento, 2,42 g/cm³ para rochas paleozóicas no cálculo do modelamento no *GM-SYS* da Geosoft, com base nas informações no relatório da ANP, TOMO VI: Área Parnaíba, Volume

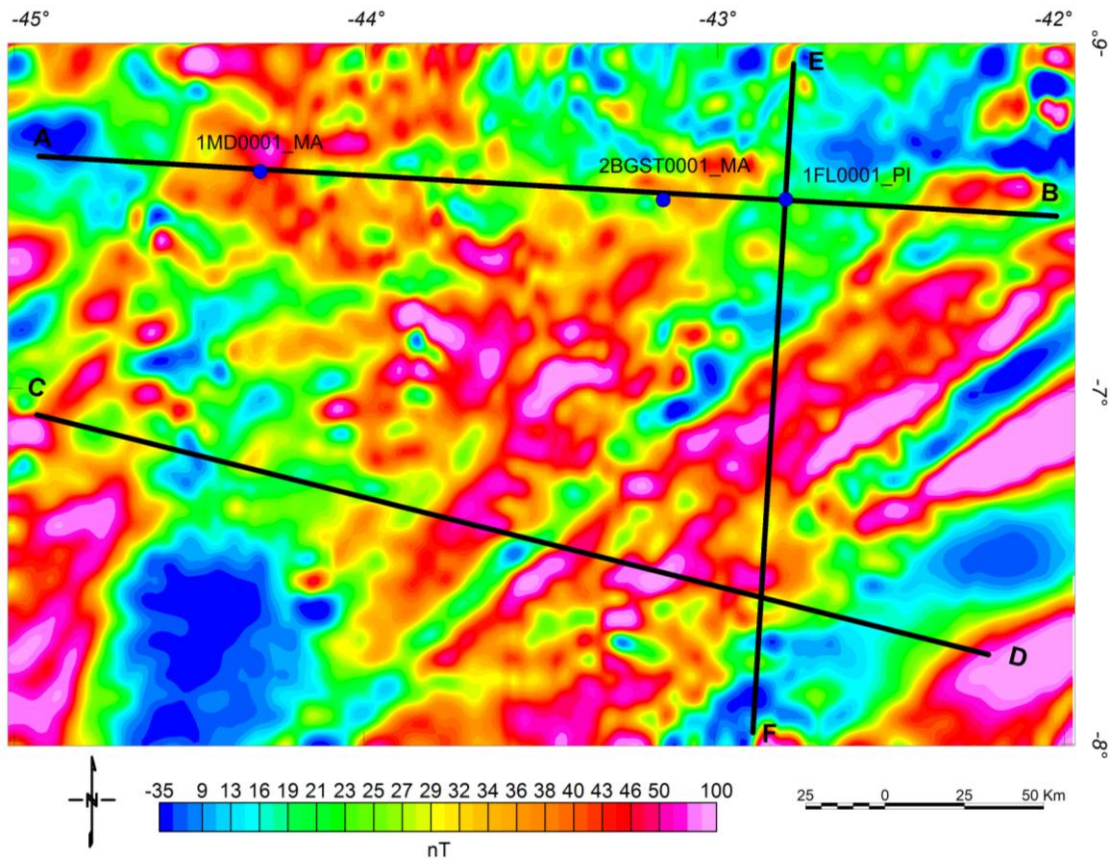
I. Os dados magnéticos também foram utilizados para complementar a modelagem por apresentarem consistências de dados ao longo do perfil. As susceptibilidades usadas baseiam-se na bibliografia consultada (Dobrin e Savit., 1988). Os poços dentro da área de estudo e públicos são: 1MD0001-MD (Mirador 1), 2BGST0001-MA (BGST- Barão do Grajaú) e 1FL0001-PI (FL-Floriano), este último o único que atingiu o embasamento com profundidade de 2.080 metros.

Figura 25 – Mapa da anomalia Bouguer com a localização dos perfis extraídos.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 26 – Mapa da Intensidade Magnética Total Reduzido ao Pólo, (TMI_RTP) com a localização dos perfis extraídos.






Fonte: O autor, 2017.



6.2.1 Perfil da Modelagem Direta


Permite uma melhor caracterização e visualização das estruturas do embasamento (Figuras 27, 28 e 29), onde evidencia a estruturação de *Grabens* e *Horsts*, com uma projeção de profundidade média de aproximadamente de 3.000 metros na área de estudo.

Para as Figuras 27, 28, 29 adota-se a seguinte simbologia:

Legenda:**Sedimentos:**
 d=2,42 e S=0.00032

 d=2,42 e S=0.00002
Ígneas:
 d=2,42 e S=0.0032

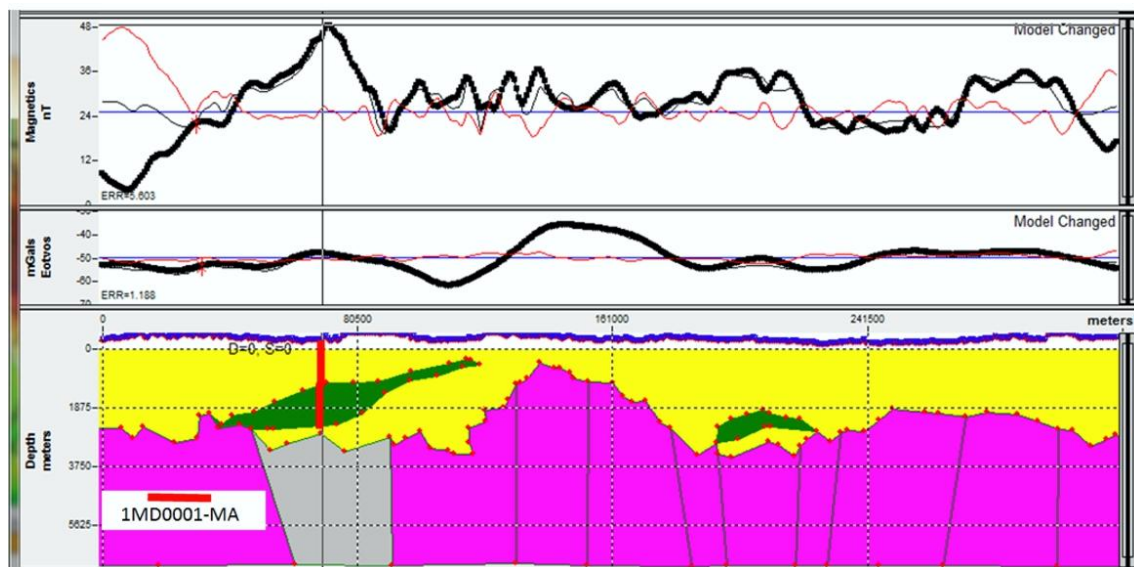
 d=2,52 e S=0.0032
Embasamento:
 d=2,67 e S=0.0003012

 d=2,75 e S=0.002

d = densidade e s= susceptibilidade magnética

No perfil A_B (Figura 27), que abrange os três poços com dados públicos existentes na área de estudo (Figuras 25 e 26), foi feita uma modelagem 2D para estimativa da profundidade do embasamento, a qual foi aferida com o poço 1FL0001-PI, único que atingiu o embasamento com profundidade de 2046 metros. Observa-se que o alto gravimétrico está relacionado com o alto estrutural e o alto magnético relacionado possivelmente com a contribuição de intrusões ígneas de espessura relevante.

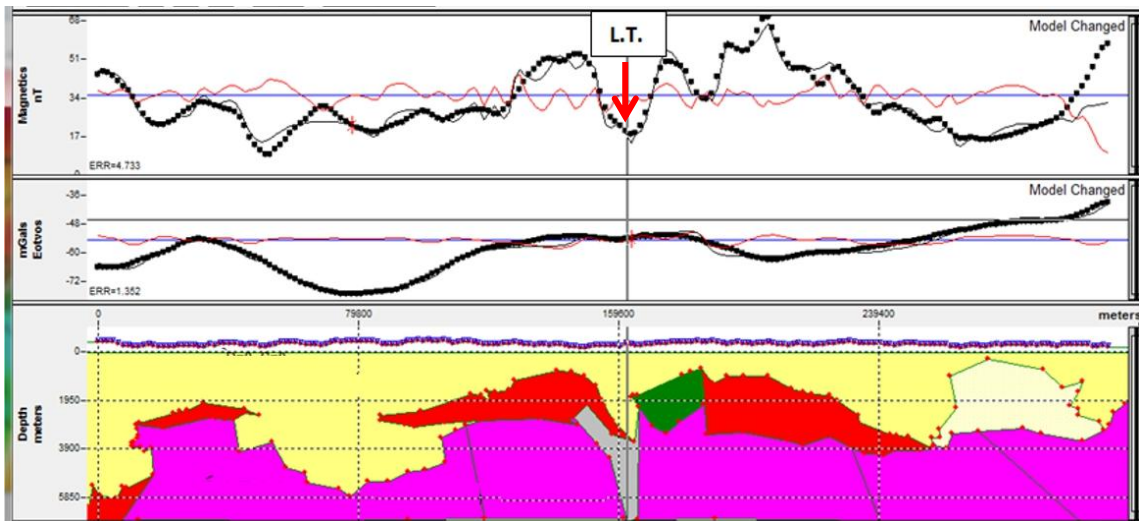
Figura 27 – Modelagem 2D Perfil A_B



Fonte: O autor, 2017.

No perfil C_D na Figura 28 abaixo, destaca-se que o Lineamento Transbrasiliano (L.T.), apresenta um baixo magnético sobre um alto gravimétrico que evidencia e é caracterizado pela presença de estruturas de grabeniformes, na referida bacia, segundo Góes & Travassos (1992). Além da presença em grande quantidade de intrusões ígneas.

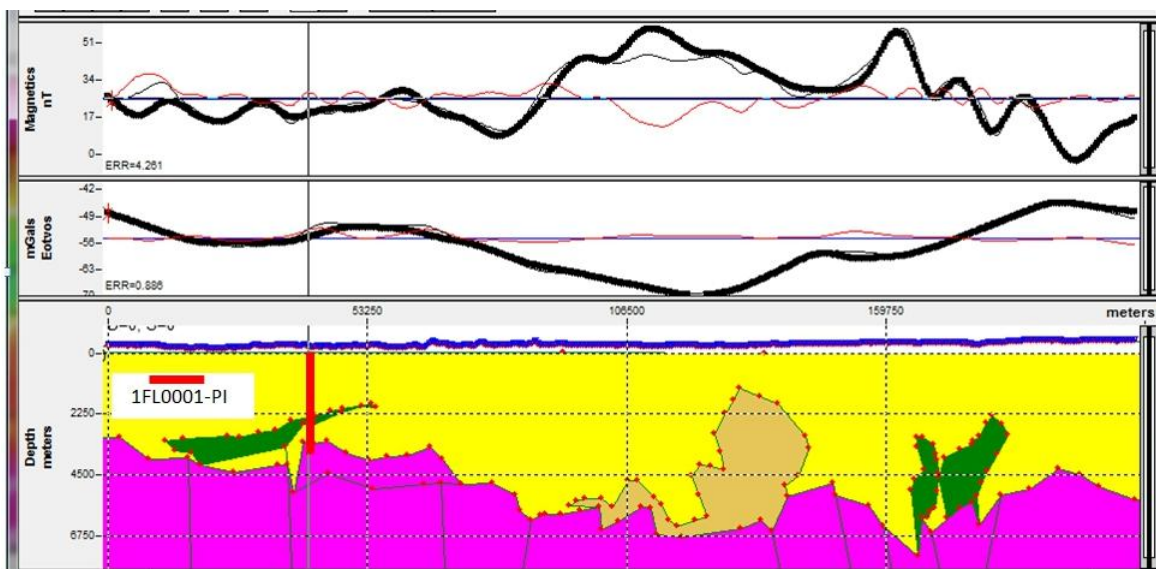
Figura 28 – Modelagem 2D . Perfil C_D.



Fonte: O autor, 2017.

No Perfil E_F na Figura 29 abaixo, fizemos a amarração a partir do cruzamento do perfil A_B com o poço 1FL0001-PI e o perfil C_D para uma melhor definição e aferimentos dos dados modelados. Onde se revelou uma coerência na modelagem e o perfil composto do referido poço. Desta forma, concluímos que a modelagem geofísica gravimetria e magnética é eficaz no entendimento do arcabouço estrutural da área em estudo.

Figura 29 – Modelagem 2D . Perfil E_F.



Fonte: O autor, 2017.

CONCLUSÕES

O aerolevanteamento esclareceu importante complexidade estrutural e identificou algumas áreas merecedoras de maior detalhamento em virtude de suas características estruturais favoráveis à ocorrência de hidrocarbonetos. Como também uma ocorrência de rochas intrusivas com uma maior concentração no centro da área de estudo.

As especificações adotadas para levantamento em escala regional se mostraram adequadas ao potencial do sistema empregado e ao objetivo exploratório, sendo possível identificar e mapear, através de diversas técnicas as feições estruturais e características já conhecidas da Bacia do Parnaíba, como os Lineamentos: Transbrasiliano (SW-NE), Marajó-Parnaíba (NW-SE) e o lineamento Valença-Cococi (W-E).

Os resultados apontam para uma nova perspectiva na exploração da bacia, já que os baixos gravimétricos mapeados podem representar subáreas com potenciais estruturais para o acúmulo de hidrocarbonetos, se correlacionadas com a geometria do embasamento.

A Bacia do Parnaíba apresenta áreas favoráveis no contexto estrutural ao acúmulo de hidrocarbonetos, conforme já atestado pelo poço de Capinzal (em produção de gás), características de estruturas geológicas e litoestratigráficas com qualidade e quantidade adequada de matéria orgânica para a geração de hidrocarbonetos.

Analisando o contexto a partir deste conhecimento adquirido neste trabalho é possível afirmar que a modelagem 2D evidenciou a presença de estruturas grabeniformes caracterizadas por se apresentarem com alta densidade, baixa susceptibilidade magnética e profunda e, as intrusões de basalto ao longo da área de estudo.

SUGESTÕES

Para uma melhor definição das subáreas, faz-se necessário um detalhamento dos aerolevanteamentos geofísicos em escala de detalhe, com espaçamento de 500 metros entre as linhas de produção e 5.000 metros para as linhas de controle, como também uma modelagem geológica 3D, para uma melhor avaliação do potencial estrutural para hidrocarbonetos associado as estas novas feições.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. A. Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo, Anais... São Paulo: SBG, 1971. V.3, p.113-122.

ANP, TOMO VI: ÁREA DO PARNAÍBA, Vol. I. Levantamentos Aerogeofísicos.

BHATTACHARYYA, B. K.; LEU, L. K. 1977. Spectral Analysis of Gravity and Magnetic Anomalies Due to Rectangular Prismatic Bodies. *Geophysics*, 42: 41-50.

BLAKELY, R. J., 1995, *Potential theory in gravity & magnetic applications*: Cambridge University Press, New York, 441p.

BLAKELY, R. J., and Connard, G. G., 1989, *Crustal studies using magnetic data, in Geophysical framework of the continental United States: Geological Society of America Memoir 172*

BREVILLEGE, G. L. et alii. 1977. Bouguer Gravity Anomaly Map of South America, 1: 1 : 10 000 000, 3ª Ed., Saint Louis, Missouri, Defense Mappings Agency Aerospace Center St. Louis Air Force Station.

CAMPBELL, D.L., 1983, *BASIC Programs to Calculate Gravity and Magnetic Anomalies for 2-1/2 - Dimensional Prismatic Bodies*, U.S.G.S. Open-File Report 83-154.

CAROZZI, A. V. 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES. (PETROBRÁS. Série Ciência Técnica-Petróleo, nº 7)

CHAMANI, MARLEI ANTÔNIO, *Tectônica intraplaca e deformação sinsedimentar induzida por abalos sísmicos: O Lineamento Transbrasiliano e estruturas relacionadas na Província Parnaíba Brasil*, Dissertação de mestrado USP IG 2011.

CALDASSO, A.L.S.; HAMA, M. – 1978 – Posicionamento estratigráfico das rochas básicas da Bacia do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife. Anais. SBG v.2, p.567-581.

COLIN REEVES, 2005. *AEROMAGNETIC SURVEYS, Principles, Practice & Interpretation*.
CORDANI, U. G.; TEIXEIRA, W. Proterozoic accretionary belts in the amazonian craton. *Geological Society of America Memoirs*, Geological Society of America, v. 200, p. 297–320, 2007.

CORDANI, U. G., NEVES, B. B. B., FUCK, R. A., PORTO, R. , THOMAZ, A. & CUNHA, CUNHA, F.M.B. Evolução paleozoica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. 1986. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1986.

FIGUEIREDO, A.M. & RAJA-GABAGLIA, G.P. 1986. Sistema classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 16(4): 350-369.

FORTES, F.P. – 1978 – Geologia estrutural e tectônica da bacia sedimentar do Meio-Norte do Brasi. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Anais do XXX Cong, Bras. Geol, Recife, PE SBG, v.1, p.321-336.

GEOSOFT, Aeromagnetic Surveys: Principles, Praticice & Interpretation.

GLENN, W. E., E BADGE, R. A., 1998. High Resolution aeromagnetic surveys for hydrocarbon exploration: prospect scale interpretation: *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 34, 97-102

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ J.F. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.57-67. 1994.

GRANT, F.S. & WEST, G.F., (1965), *Interpretation Theory in Applied Geophysics*’ McGraw-Hill Book Company, Toronto.

J. H. SCHON, PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ROCHAS, Aplicadas à Engenharia de Reservatório, Fundamentoe Teóiticos e Práticos.

KEATING P & ZERBO L. 1996. An improved technique for reduction to the pole at low latitudes. *Geophysics*, 61(1): 131–137.

L.A. BIZZI; C. SCHOBENHAUS; R. M. VIDOTTI; J. H. GONÇÁLVES. *Geologia, Minerais Tectônica e Recursos do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003.

LAFEHR AND NABIGHIAN, *Fundamentals of Gravity Exploration*.

LI, X., 2007, Magnetic reduction-to-the-pole at low latitudes: Practical considerations: Presented at the 77th Annual Meeting, Society of Exploration Geophysicists.

MESNER J.C. & WOOLDRIDGE L.C.P. 1964. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous Costal Basins, North Brazil. *AAPG Bulletin*. 48(9): 1475 – 1512

SADOWSKI G. R. and Campanha G. A. C. 2004. Grandes falhas no Brasil continental. In *Geologia do Continente SulAmericano: Evoluç, aõ da Obra de Fernando Fla’vio Marques de Almeida*, edited by Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C. D. R., and Brito-Neves B. B. Saõ Paulo: Editora Beca. pp. 407–421

SCHOBENHAUS, C., BRITO NEVES, B.B., 2003, *A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana, Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, Capítulo I, CPRM, Brasília

TELFORD. W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E. & Keys, D.A., 1984. *Applied Geophysics*, Cambrige University Press, 860pp., ISBN 0-521-29146-1.

VAZ, P. T., Rezende, N. G. A. M., Wanderley Fo., J. R., Travassos, W. A. S. Bacia do Parnaíba. “*Boletim de Geociências da Petrobras*”. Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007.

VACQUIER, V., N. C. STEENLANT, R. G. HENDERSON, AND I. ZIETZ, 1951, Interpretation of aeromagnetic map: Geological Society of America, Memoir 47.

VERDUZCO, B., J. D. FAIRHEAD, C. M. GREEN, C. MACKENZIE, 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping: *The Leading Edge*, v. 23, no. 2, p. 116-119.

WERNER, S, 1953, Interpretation of Magnetic Anomalies at sheet-like bodies: *Sveriges Geologiska Undersokning* No. 508, Stockholm.

WILLIAM J. HINZE, RALPH R. B. , AFIF H. SAAD, 2012, *Gravity and Magnetic Exploration, Principles, Pratices, and Applications*.