



Estudo das estruturas do embasamento da confluência do Rio Tietê e Piracicaba gravimetria terrestre e satélite

Carlos Carrasco Arbiato.

1Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562 Cidade Universitária, CEP:005508-080, São Paulo, Brasil, Fone (51) 3091-4217 Email:ccarrasco44@gmail.com

Jorge Kazuo Yamamoto

2Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562 Cidade Universitária, CEP:005508-080, São Paulo, Brasil, Fone (51) 3091-4203 Email: jkyamamo@usp.br

Abstract (Font: Arial Bold, 9)

This work aims to geophysical investigation in the São Paulo region of the confluence of the Tietê and Piracicaba rivers. It's development by survey gravimetric ground and through satellite images of the recent EGM2008 and Goes models. The issue of this study is to investigate the gravimetric response of this region with a purpose to identifying a possible tectonic elements. We try to achieve this goal by survey a ground gravity with 1440 points, among which were accompanied by differential GPS measurements to determine the altitude accurately. The evidence found are correlated geophysical structures already identified / interpreted appearing in the literature, correlating the results with geophysical and geological feature, delimiting the edges of the existing elements geological and tectonic contributing to the local / regional level.

Introduction

A configuração de traçado dos rios Tietê e Piracicaba chama a atenção por se tratar de um fenômeno que envolve a adaptação de estruturas, percorrendo cuestas, com nítidos desvios de seus traçados, sendo que a maior parte da evolução estratigráfica-estrutural foi controlada por trends herdados do embasamento. Nesse sentido, os métodos potenciais, como a gravimétrica e magnetometria tornam-se uma ferramenta importante para entender as estruturas existentes.

Os modelos potenciais gravimétricos por satélite trouxeram uma melhoria significativa no mapeamento global do campo gravitacional, produzindo um modelo confiável e mais refinado. Dentre esses modelos potenciais gravimétricos, os modelos derivados do modelo Goce que no menor comprimento de onda atinge 19 Km (equivalente $N=210$) e nos derivados do modelo EGM2008 alcançam 9 Km. Este modelo está completo até o grau de ordem 2159 dos coeficientes harmônicos esféricos, resolvendo dessa forma os comprimentos de ondas curtas do geóide e da anomalia da gravidade (Pavlis et al., 2008).

Esses autores consideraram o gradiente gravimétrico uma ferramenta ideal para delimitar unidades sob camadas estratigráficas de diferentes densidades, que

podem ser interpretadas através de comprimento de ondas de meio e longo período.

Especificamente, na Bacia do Paraná, usando o gradiente gravimétrico, Braitenberg et al., (2010) delimitaram a extensão de rochas metamórficas pertencentes ao cráton de São Francisco, sobrepondo duas camadas de sedimentos e basaltos.

A partir dessas considerações, questiona-se a capacidade do levantamento terrestre pode realçar anomalias locais com a representatividade adequada. A remoção do campo regional para isolar as anomalias residuais são temas ainda discutidos, ainda mais quando existe uma complexidade geológica inerente. Apesar dos geofísicos terem desenvolvido diferentes linhas de raciocínio para o assunto, ainda não existe um consenso no que se refere a perfeita separação do campo regional. Assim, foram desenvolvidos vários métodos analíticos, incluindo métodos de superfície de tendência.

Considerando que as informações gravimétricas provêm de zonas cujas profundidades vão desde a superfície até além da base da crosta, o procedimento de remoção do campo regional deve ser realizado criteriosamente, pois, muitas vezes, podem surgir anomalias fictícias, em razão de procedimentos matemáticos empregados pelos métodos de superfície de tendência.

Entretanto, quando nos referimos à densidade de amostragem, que consiste na resolução espacial representada pela metade do comprimento de onda, grandes estruturas localizadas em zonas profundas serão observadas com maior espaçamento (5-10Km) (Gouvêa et al., 1995). Isso significa que em um maior intervalo de amostragem, mais evidentes serão os efeitos das estruturas profundas. Nessa linha de raciocínio, em um menor intervalo de amostragem é possível mostrar anomalias anteriormente apagadas ou ocultas, e, em um horizonte claro, as estruturas superficiais e pequenas serão evidenciadas (Gouveia et al., 1995).

Partindo dos conceitos de filtro de comprimento de onda, entendido como sendo uma operação matemática, baseado na ideia de que qualquer variação de padrão de onda, ao longo de um perfil, poderia ser reproduzida incrementando uma seleção apropriada de uma curva cíclica (Robinson & Çoruh, 1988). Cada modelo

gravimétrico de satélite tem um diferente comprimento de onda L , amplitude H e a distância entre os picos das ondulações consequentes. Essa descrição para cada modelo significa uma característica e natureza específica da origem da amostragem, e conseqüentemente uma representação do modelo.

A ideia é a de tratar, cada modelo, como um efeito de uma estrutura conhecida, na mesma linha de separação por meio do método effects of known sources, ao qual se fundamenta por remover o efeito da atração da gravidade Bouguer, elemento conhecido, para obter o valor da anomalia gravimétrica de outro elemento desconhecido (Robinson & Çoruh, 1988), ou seja, o levantamento residual do levantamento terrestre.

Este trabalho tem como objetivo geral determinar descontinuidades no arranjo estrutural na conformação do embasamento, relacionando a reposta gravimétrica com a transformação do Pseudo-Gravity das técnicas FFT pode ser aplicado a dados aéreo magnéticos, o qual associa com fontes magnéticas profundas (Pratt D.A et. al., 2004). Esta transformação é uma ferramenta para a detecção de padrões ígneos e papéis vulcânicos e a modelagem pode-se ser usado ferramentas convencionais de gravimetria.

Method

A área de estudo está localizada na região centro leste do Estado de São Paulo. Na porção norte da área está a cidade de Brotas, Itirapina e Jaú; na porção sul, Anhembi, Botucatu, Angatuba e Saltinho. A área está completamente inserida na Bacia do Paraná em sua borda leste, conforme a Figura 1.

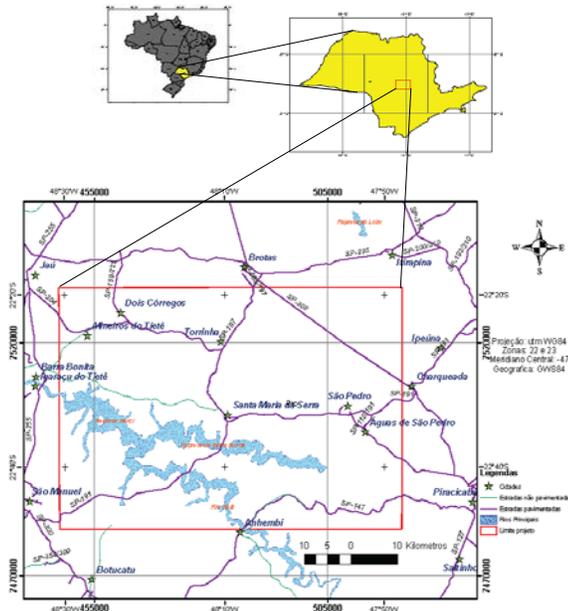


Figura 1. Localização da área em estudo na parte do estado de São Paulo.

Dentre os dados públicos disponíveis, nos últimos anos foram desenvolvidos modelos potenciais por meio de missões de monitoramento do campo gravimétrico por satélite GRACE (Gravity Recovery And Climate

Experiment) e Goce (Gravity Field and Steady – State Ocean Circulation Process) que possui melhor resolução das componentes estática e dinâmica do campo de gravidade terrestre.

No levantamento de campo foi definido como ação prioritária o reconhecimento regional através da gravimetria terrestre, acompanhada de um levantamento planialtimétrico (Trimble R3 GPS System) de alta precisão.

Nesse estudo foi realizado levantamento gravimétrico terrestre, cujas estações estão distribuídas ao longo de estradas atingindo 1440 pts (Figura 2). Os dados aéreos usados são do levantamento magnetométrico realizado pela ANP em 2004 e cedidos pela ANP.

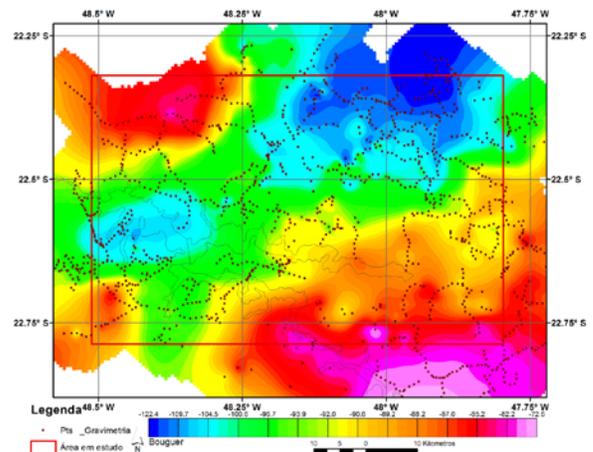


Figura 2. Mapa Bouguer da área em estudo e pontos levantados.

O método de Baranov's (1957) que transforma as anomalias magnéticas dentro de anomalias Pseudo-Gravimétricas. Este é baseado na teoria de Poisson's conectando o potencia gravimétrico e magnético de um corpo onde é magnetizado é uma direção providenciada (Figura 3) (Bott M.H.P et. AL., 1966).

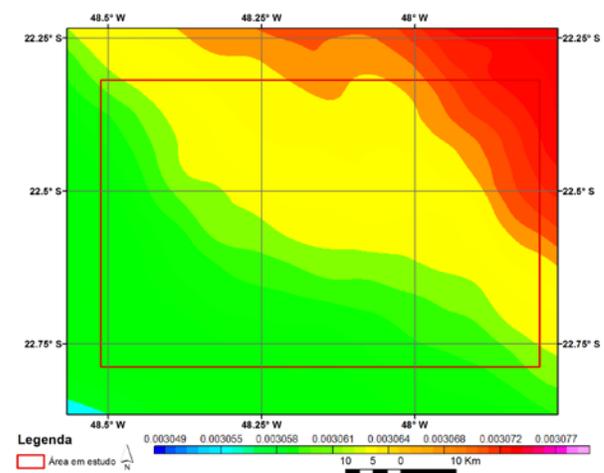


Figura 3. Mapa Bouguer da área em estudo e pontos levantados.

Geology

A área em estudo encontra-se no contexto geológico da Bacia do Paraná, que constitui uma bacia sedimentar intracratônica com acumulação de rochas sedimentares e pacotes vulcânicos em forma de diques, sills e derrames, localizada na porção centro-leste do continente sul-americano.

Segundo Almeida (1981), a história evolutiva desta bacia ocorreu em quatro estágios. Os dois primeiros compreendem dois ciclos tectono-sedimentares completos em uma bacia sinforme em processo de subsidência e os dois últimos envolvem soergimento e extrusão de grandes volumes de lava toleítica, massas intrusivas e diferenciados correspondentes.

Riccomini (1995) identificou a influência de diversos alinhamentos no estado de São Paulo (Figura 4), sendo os principais: alinhamentos do Rio Paranapanema, Rio Moji-Guaçu, Rio Tietê (NW-SE) e o prolongamento da zona de Falha de Jacutinga (NE-SW).

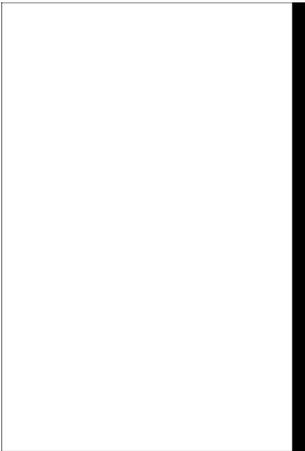


Figura 4. Unidades geológicas e principais alinhamentos estruturais da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo.

Unidades Geológicas. Altos Estruturais: 6 – Domo de Anhembi-Piçarra; 7 – Estrutura de Pitanga; 8 – Domo de Artemis; 9 – Horst Pau d'Alho; 10 – Domo de Jibóia; 11 – Domo de Jacarezinho; 12 – Domo da Neblina; 13 – Domo de Jacu; 14 – Estrutura Dômica de Carlota Prenz; 15 – Domo de Rio Grande; 16 – Domo de Jacutinga; 17 – Domo de Guarda; 18 – Astroblema de Piratininga; 19 – Domo de Jacaré-Guaçu (Extraído. Riccomini 1995, p.43).

As altitudes médias da área de estudo situam-se entre 500 e 600 metros (com 450 metros nos leitos dos rios Tietê e Piracicaba) e entre 700 à 1066 nas serras de São Pedro e Itaqueri, que em grande parte são sustentadas por rochas básicas do magmatismo Serra Geral que sobre estas estruturas, aparecem evidências de linhas tectônicas reativadas, sugerindo influências tectônicas na configuração das serras de São Pedro, Torrinha, Itaqueri e no entalhe do Rio Piracicaba. No rio Tietê, nas imediações da região de Anhembi, é apreciável uma anomalia de drenagem na forma de semicircunferência (círculo vermelho), dada pelo rio Alambari; e pelo lado esquerdo da confluência dos rios Piracicaba e Tietê,

destacando a drenagem radial conforme mostrado na Figura 9 a seguir.

Fúlvaro et al. (1967) estudaram a região de Brotas, Itirapina, São Pedro e Piracicaba no que diz respeito à tectônica da Serra de Santana e São Pedro. Nesse trabalho, os autores descrevem que esta área sofreu um intenso tectonismo e originou a escarpa local da Serra Geral. A própria Serra de Santana é uma verdadeira escarpa de falha, que constitui um bloco sobrelevado em relação às serras de Itaqueri e São Pedro, que são niveladas pela erosão (Fúlvaro et al., 1967). Mais a oeste do planalto são encontrados depressões tectônicas que foram produzidas pelos abatimentos dos blocos, como as depressões de Brotas e Rio Jacaré segundo esses mesmos autores.

Poços de monitoramento perfurados pela Petrobrás em Pitanga e Assistência forneceram informações de espessura e desnível de camadas da Formação Irati, Grupo Tubarão e embasamento cristalino. O mais interessante é que o embasamento encontrado em Pitanga é 233 metros mais alto que em Assistência (Fúlvaro et al., 1967). Separados por apenas 6 km, somente a explicação tectônica relacionada com rupturas, seguida de intrusões de diques, seria viável. A região estudada pelos autores bem como os perfis realizados na região é apresentado nas Figuras 5 e 6.

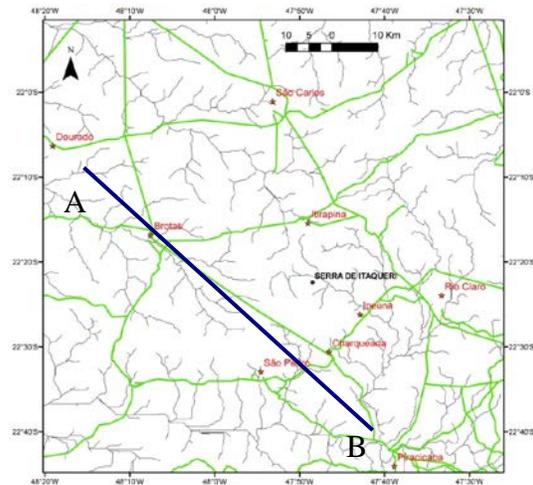


Figura 5. Perfil esquemático entre Rio Claro e Araraquara. Extraído de Fúlvaro et al. (1967).

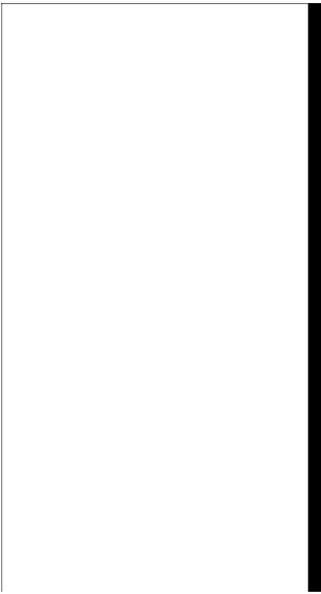


Figura 6. Perfil (A-B) esquemático entre Piracicaba e Dourado. Extraído de Fúlvaro et al. (1967).

Results

Para detectar certas estruturas rasas, o comprimento de onda das unidades geológicas deve ter maior resolução de campo de gradiente do tensor vertical. O modelo combinado (EGM2008) possibilita o cálculo de gradiente do tensor vertical, delimitando o contraste de densidades supracrustais conforme a figura 7, quando comparado com a gradiente do tensor vertical

O alto gravimétrico anômalo na região de Anhembi poderia estar relacionado ao domo de Anhembi. Isto está relacionado ao sinal analítico que é definido como uma redução ao polo, totalmente independente da direção de magnetização (Milligan & Gun, 1997). Assim, pode-se notar que as fontes magnéticas da parte sul da área (Anhembi) ocorrem em menor quantidade em relação da zona norte (Brotas, Torrinha, Itaqueri)

Braitenberg (et al., 2012) relacionaram o sinal gravimétrico (gradiente tensor vertical) com diferentes estruturas geológicas, demonstrando e identificando as unidades geológicas, recomendando aplicar o modelo EGM2008 em áreas não tão bem estudadas. Assim, o gradiente serve também, como guia para orientar de futuras campanhas que procuram determinar alguns limites geológicos. Dessa forma, conseguiu-se delimitar as estruturas na parte norte, unidade que ainda não era definida pelo Anomalia Bouguer terrestre, e que delimitou os pacotes da Formação Serra Geral (Basaltos em vermelho) e assim como a calha deposicional da confluência conforme o realce dos mapas (Bouguer) da Figura 6C, onde verifica-se que o gradiente na parte norte da área é uma estrutura profunda.

A partir da interpretação de algumas unidades geológicas conhecidas abordadas em trabalhos anteriores, e informações diretas a respeito de poços e perfis desenhados, pôde-se presumir o sill de diabásio encontrado no poço com profundidade de 1650m, (Figura 6), e atingem o embasamento, conforme o Log BHID-

ANH, na falha Ipeúna – Piracicaba que fica delimitada tanto pelo modelo residual (Figura 7A) como pelo gradiente do tensor vertical EGM2008 (Figura 7B) e da depressão tectônica de Brotas constatada pelos 3 modelos ao norte da confluência dos dois rios. O alto estrutural de Artemis é o intrusivo básico na região de Conchas do sudeste (Figura 7).

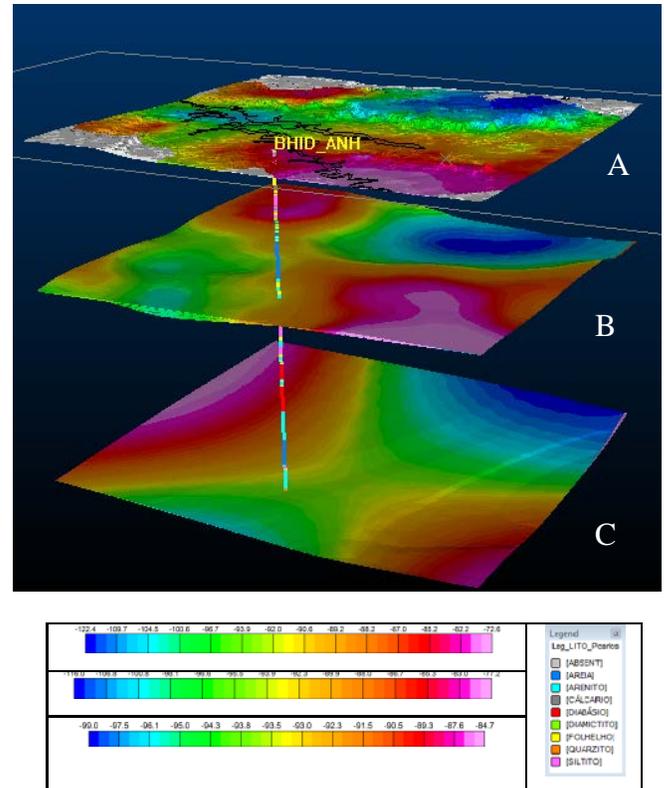


Figura 7. Representação esquemática dos três modelos com exagero 5 vezes: (A) bouguer dos dados terrestre sobre o Modelo de elevação, (B) bouguer EGM2008 e (C) bouguer Goes com referencia do log – furo Anhembi com 200m de diabásio (em vermelho na legenda).

No caso da separação Bouguer terrestre usando a superfície de tendência a um polinômio de dados observados, o trabalho de Beltrão et al., (1991), ressaltado por um baixo na confluência dos dois rios, deve ser considerada a espessura da bacia deposicional do Piracicaba que aloja as camadas do Pirambóia (Figura 8A)

Observa-se que na região de São Pedro, Itaqueri e Ipiuna um baixo gravimétrico (modelo terrestre), está associado a eixos magnéticos, permitindo inferir uma maior profundidade do embasamento. Ainda neste fato pode ser confirmado pela resposta residual do modelo terrestres e a gradiente gravimétrica do modelo EGM2008 (Figuras 8A e 8B), que evidencia os limites dessas estruturas superficiais.

Estudos realizados por Fúlvaro et al., (1967), por meio de informações diretas (sondagens), verificaram discordâncias relativas à continuidade de camadas no perfil AB da Figura 4. O gradiente do tensor vertical do modelo Goce conforme a Figura 16C evidencia

claramente a depressão do relevo do embasamento. Dessa forma, sugere-se que este soerguimento este associado à eventos recentes por refletir as discordâncias nas camadas superficiais.

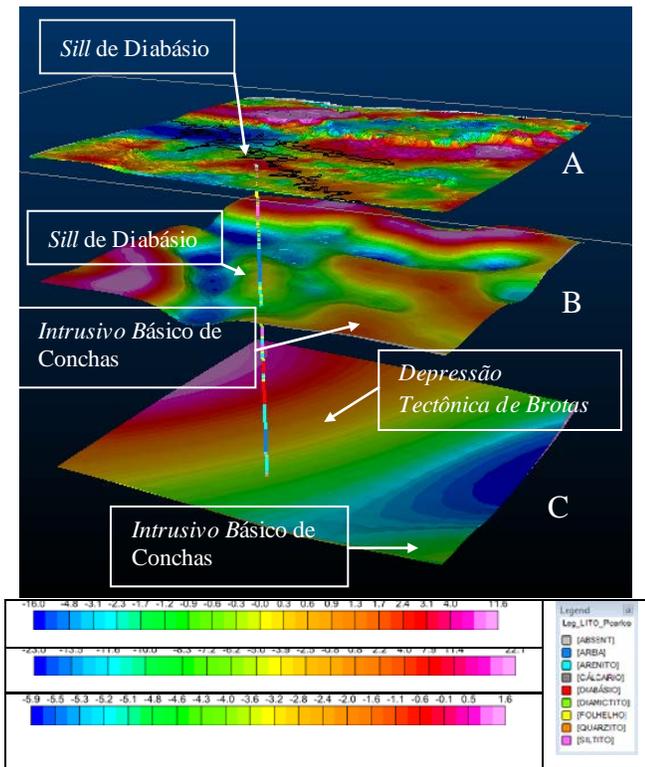


Figura 16. (A) Validação do modelo residual com exagero 5 vezes (modelo terrestre de grau 4) pelo (B) Gradiente do tensor vertical (modelo EGM2008) e (C) Gradiente do tensor vertical (modelo Goes).

A interpretação através de mapas gravimétricos, assim como do contexto morfológico, não é único em relação ao motor tectônico da confluência dos rios. Uma primeira interpretação demonstra a possível existência de uma calha no embasamento, fato que corroboram os padrões e formas da drenagem, assim como a diferença de cotas entre as serras e os altos estruturais que estariam relacionados a processos denudacionais destacados. Uma segunda interpretação, partindo de verificações feitas por Riccomini (1997) no tectonismo deformador da formação Itaqueri, onde foram relacionados a movimentações ao longo dos alinhamentos Tietê (NW), São Carlos-Leme e Moji-Guaçu, sobre os eixos das anomalias gravimétricas que apresentariam padrões com direções W-NW a E-W. Uma terceira possibilidade seria, o tectonismo dos altos estruturais de Anhembi e Artemis, localizados na parte sul da área que expõem sedimentos mais antigos nas porções centrais (Lucena 2004, p.10). A estrutura de Artemis tem a forma ligeiramente arqueada, onde o eixo maior é cortado pelo rio Piracicaba. Enquanto alto de Anhembi esta relacionado às falhas, diques e soleiras de formação serra geral, além de altos e baixos do embasamento (Araujo, 2005 p.54). No entanto, caso o tectonismo dessas estruturas foram contemporâneo ou posterior ao vulcanismo basáltico,

sugerem controles estruturais em diferentes escalas de tempo.

Conclusions

Uma primeira interpretação de mapas gravimétricos demonstra a possível existência de uma calha no embasamento, fato que corroboram os padrões e formas da drenagem, assim como a diferença de cotas entre as serras e os altos estruturais que estariam relacionados a processos denudacionais destacados. Uma segunda interpretação, partindo de verificações feitas por Riccomini (1997) no tectonismo deformador da formação Itaqueri, onde foram relacionados a movimentações ao longo dos alinhamentos Tietê (NW), São Carlos-Leme e Moji-Guaçu, sobre os eixos das anomalias gravimétricas que apresentariam padrões com direções W-NW a E-W. Uma terceira possibilidade seria, o tectonismo dos altos estruturais de Anhembi e Artemis, localizados na parte sul da área que expõem sedimentos mais antigos nas porções centrais (Lucena 2004, p.10). A estrutura de Artemis tem a forma ligeiramente arqueada, onde o eixo Anhembi esta relacionado às falhas, diques e soleiras de formação serra geral, além de altos e baixos do embasamento (Araujo, 2005 p.54). No entanto, caso o tectonismo dessas estruturas foram contemporâneo ou posterior ao vulcanismo basáltico, sugerem controles estruturais em diferentes escalas de tempo.

Com a modelagem dos dados existentes, pretende-se quantificar um modelo geológico, estimando-se as espessuras do pacote sedimentar existente, produzindo-se um mapa de isoespessuras do mesmo. Para tanto, será feita a modelagem por inversão calibrando-se a mesma com informações diretas, uma vez que existe um poço na área estudada que atingiu o embasamento a cerca de 1.650m de profundidade.

Acknowledgments

Agradecemos à Fundação do Amparo da Pesquisa do Estado de São Paulo; FAPESP pelo apoio financeiro com o processo 2009-509023-2. Ao instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela infraestrutura e equipamentos disponibilizados. Ao professor Jorge Kazuo Yamamoto pela orientação e gerenciamento do projeto.

References

- ALMEIDA, F. F. M. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In Simpósio Regional de Geologia, n.3, 198 , v. 1, p. 1-20. Atlas do... São Paulo:SBG, 1981.
- ARAUJO, C. C. Gênese da ocorrência de arenito asfáltico da borda leste da Bacia do Paraná, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - USP. 135p, 2003.
- BRAITENBERG C, MARIANI P, EBBING J, SPRLAK M. The enigmatic chad lineament revisited with global gravity and gravity-gradient fields. Geological Society, London, Special Publications 2011, v.357; p329-341.
- FULFARO, V.; LANDIM, P. M.; E ELLERT, N. As tectônicas das serras de Santa Ana e São Pedro. Anais do XXI Congresso Regional de Geologia - Curitiba, n.1, p.198-205, 1967.

GOUVÊA, L. J.; LUIZ, J. G. E COSTA E SILVA, L. M. Geofísica de Prospecção. Univ. UFPA, Editora CEJUP. 311p, 1995.

LUCENA, M. O. Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D' Alho e Jibóia – Centro do Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, UNESP, 206p, 2002.

RICOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos pós-gonduanicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências. USP. 100 p, 1985.

PAVLIS NK, HOLMES SA, KENYON SC, FACTOR JK. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.

PRATT, D. A. e Shi, Z. An improved pseudo-gravity magnetic transform technique for investigation of deep magnetic source rocks, ASEG 17th Geophysical Conference and Exhibition, Sydney 2004.

Robinson ES, Çoruh C. Basic exploration geophysics. Editora Wiley. Original de Universidade da Califórnia Digitalizado. 1988. 562p.