



Levantamento Gravimétrico na Região dos Altos Estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia - porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná

Walter Malagutti Filho*, Maximilian Fries, João Carlos Dourado e Mariana Aparecida Fernandes. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP- Rio Claro.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

A geophysical survey using the gravimetric method associated with the differential GPS technic as support in the gravimetric survey in the structural highs named Pitanga, Artemis, Pau D'Alho and Jibóia, located in the northeast portion from Paraná Sedimentary Basin, southeast Brazil, was performed. Structural features (alignments) related to the main known trends recognized in previous studies in the Paraná Basin were recognized. Sector Pitanga/Artemis and Pau D'Alho/Jibóia were determined based in the alignments and also anomalies concentrations. Gravimetric signatures with NE-SW trend were observed in the Bouguer anomaly map. These anomalies are related to the basement pre-existing weak zones and faults (joints and fractures) that played the role of weakness plans that allowed the basic rocks displacement into the sediments. Such trends are recognized for the Pau D'Alho and Jibóia highs. Less extended alignments with NE-SW, E-W and N-S directions are also recognized and related to the recent reactivated faults in the basin. Gravimetric modeling indicate concordance with the structural and geologic features known in surface mapping and also for the geophysical studies that determined a sediment thickness around 500 meters in the highs area and around 1.000 meters for the area nearby the structural highs. The geophysical method of gravimetry and the use of the DGPS technic are valuable tools in the identification, recognition and consolidation of geologic and structural features that directly determined the structural highs evolution and their formation in this portion from Paraná Sedimentary Basin.

Introdução e Objetivos

Um levantamento gravimétrico de nível regional permite a identificação de características entre massas crustais e suas relações com estruturas geológicas. Estes conceitos, associados às informações geológicas e estruturais fornecem importantes dados que permitem a geração de um modelo geológico/estrutural coerente. Nesse trabalho foi realizado um levantamento gravimétrico de semi-detalle cujo mapa da anomalia Bouguer obtido, serviu como base para modelos gravimétricos baseados no estudo e conhecimento

geológico de superfície fornecendo informações para confirmar e/ou elaborar novas teorias e conceitos a cerca dos altos estruturais de Pitanga e Pau D'Alho, assim como a sua relação com a evolução da Bacia Sedimentar do Paraná. As principais etapas de desenvolvimento deste estudo são:

- Levantamento gravimétrico terrestre e GPS diferencial;
- Pós-processamento das coordenadas horizontais (X e Y) e verticais (Z) obtidas por GPS diferencial;
- Redução dos dados, processamento e geração de um *grid*;
- Mapa de contorno de isovalores com os valores da anomalia Bouguer;
- Determinação dos principais gradientes horizontais e anomalias. Correlação com os altos estruturais na área de estudo.

Contexto Geológico

A área de estudo (Figura 1) localiza-se na porção centro – leste do estado de São Paulo, Brasil e na porção norte da Bacia Sedimentar do Paraná. Pode ser basicamente descrita pelas rochas do embasamento e as unidades sedimentares que a compõem (Figura 2) com idades do período Carbonífero ao Permiano (Grupo Itararé, Grupo Tatuí e Formação Irati); do Cretáceo Superior, incluindo-se aí os derrames basálticos intrudidas no pacote sedimentar; as Formações Pirambóia, Botucatu e Itaqueri e por fim, os sedimentos Neocenozóicos, presentes nas regiões mais planas da bacia (Sousa, 2002). As unidades rochosas, suas respectivas formações e Grupos são descritas com maior detalhe por autores como Riccomini *et al.*, (1991); Soares & Landim, (1973); Soares, (1974); Sousa, (1997); Sousa, (2002) como a seguir: As rochas do Grupo Itararé encontram-se na porção central-norte da área de estudo. São arenitos, diamectitos, siltitos e argilitos. Os arenitos apresentam uma granulometria heterogênea que varia de muito fino a conglomerático. Os conglomerados são basicamente compostos por seixos de quartzo arredondados, quartzitos angulares e granitos. A Formação Tatuí encontra-se alongada na porção norte-central da área de estudo. Representada na maioria por siltitos, argilitos e níveis de silexitos. Os sedimentos da Formação Irati encontram-se em grande parte presentes a nordeste da área, próximo a cidade de Piracicaba, e a sul da área próximo a cidade de Saltinho. Esta Formação apresenta folhelhos betuminosos e em algumas partes intercalados com camadas de dolomitos acinzentados, calcários silicificados alternados com folhelhos betuminosos e apresentando nódulos de sílex. As rochas da Formação Corumbataí e seus constituintes

encontram-se presentes em toda a área de estudo. As melhores exposições e afloramentos estão nas cidades de Rio Claro e na região circunvizinha de Piracicaba e Laras. Esta Formação apresenta siltitos arenosos e argilosos e argilitos roxo avermelhados. A Formação Pirambóia encontra-se na parte centro-oeste e a sudeste da área. Os afloramentos com as melhores exposições estão próximos as cidades de São Pedro e Águas de São Pedro, e na região dos altos estruturais. Essa Formação apresenta arenitos de granulação fina a média, de cor branca e avermelhada a amarela. Ocorre em grande parte em camadas de argilitos intercalados com siltitos.

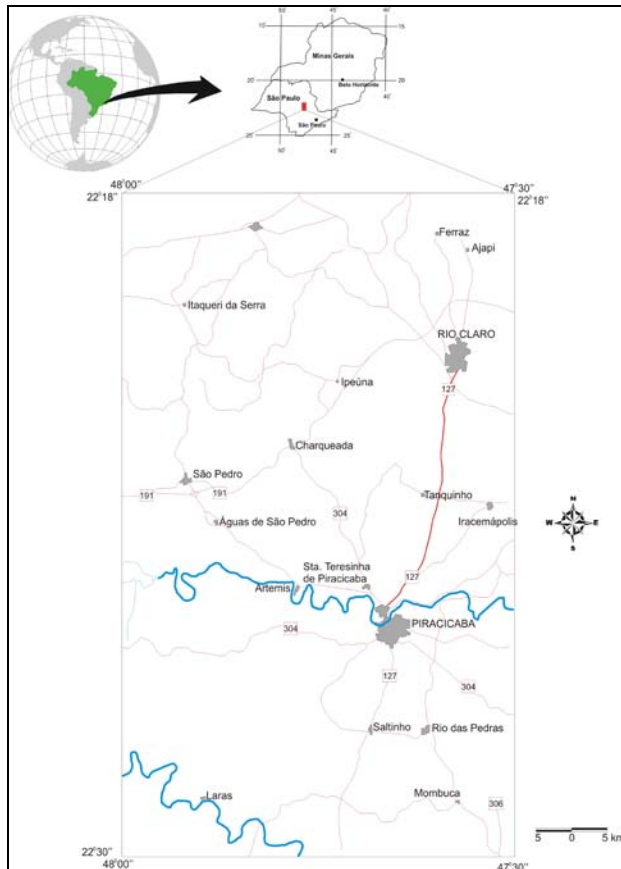


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo, principais cidades, rodovias e estradas.

A Formação Botucatu encontra-se a noroeste da área (Serras de São Pedro e Itaqueri). É composta na sua maioria por arenitos bem selecionados, silicificados ou soltos, de cor avermelhada e de granulometria de média a fina. A Formação Serra Geral ocorre em abundância na área, principalmente na forma de diques e *sills*. Estas rochas encontram-se bem expostas próximo aos rios Piracicaba e Corumbataí, nas serras de São Pedro e Itaqueri e preenchendo fraturas e falhas ao longo de toda a área, em especial na região dos altos estruturais. A Formação Itaqueri apresenta conglomerados mal selecionados com fragmentos angulares em uma matriz arenosa, diamictitos com granulometria que varia de fragmentos de quartzo, seixos, compactos, mal selecionados a arenitos argilosos ou siltosos.

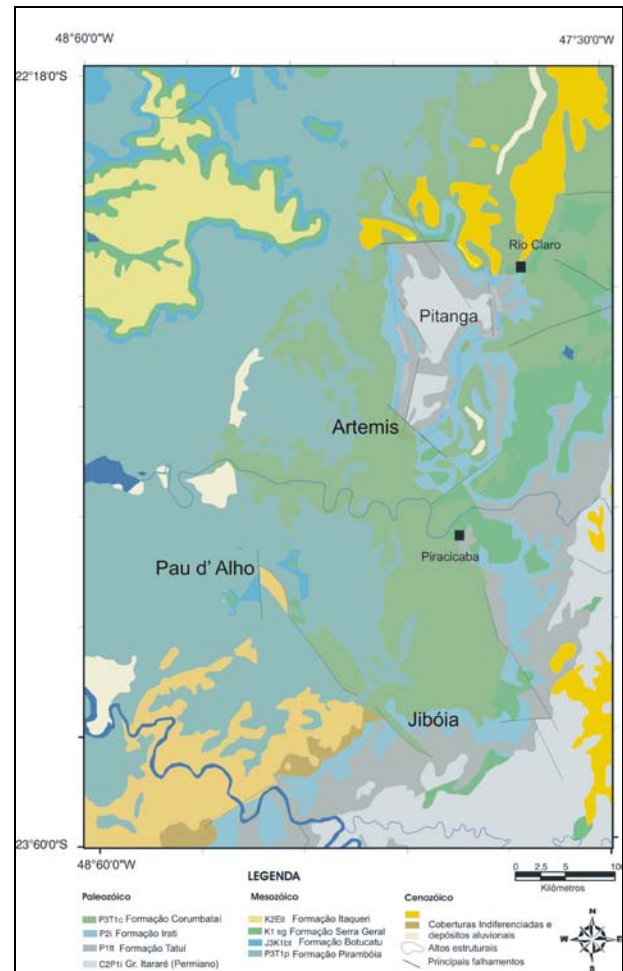


Figura 2 Mapa geológico da área de estudo com a localização dos altos estruturais e principais cidades (modificado de CPRM, 2005).

A Formação Rio Claro e seus constituintes compõem-se principalmente por areias de coloração branca amarelada, estratificadas e comumente intercaladas com lentes de argilas de cor branca e níveis conglomeráticas. Encontra-se na sua maioria, nas proximidades das cidades de Rio Claro e Ipeúna. Coberturas recentes superficiais são representadas por material conglomerático, seixos, areias e depósitos argilosos próximos as drenagens (relacionados ao sistema de drenagens da área). Estes sedimentos são compostos na maioria de areias e argilas, seixos (nos terraços altos e intermediários dos rios), e também sedimentos recentes.

Características tectônicas dos altos estruturais

De acordo com estudos de Sousa (1997) e Sousa (2002) realizados na área, o arranjo e a compartimentação estrutural dos altos estruturais estão relacionados às unidades estratigráficas e a uma movimentação dos blocos controlada por falhamentos, considerando que unidades mais recentes encontram-se lado a lado de

unidades rochosas mais antigas. Em termos morfoestruturais a área é fortemente marcada por lineamentos NW – EW – NE relacionados às zonas de falhas normais. As falhas de direção NW – SE são caracterizadas por mergulhos para NE e de blocos inclinados para NW promovendo essa feição geométrica de domo estrutural (Altos de Pitanga, Ártemis, Pau D'Alho e Jibóia).

A morfotectônica da área pode ser descrita como um produto de um regime de distensão que possibilitou à geração das falhas normais (NE – SW) diretamente correlacionadas a partição do Gondwana, assim como regime de falhas do tipo *strike-slip* que reativaram as descontinuidades previamente existentes, prováveis extensões de zonas de falhas oriundas do embasamento.

Metodologia

Neste trabalho foi obtido um total de 595 estações gravimétricas com um gravímetro La Coste & Romberg, modelo G 987 com precisão de 0,01 mGal (Figura 3).

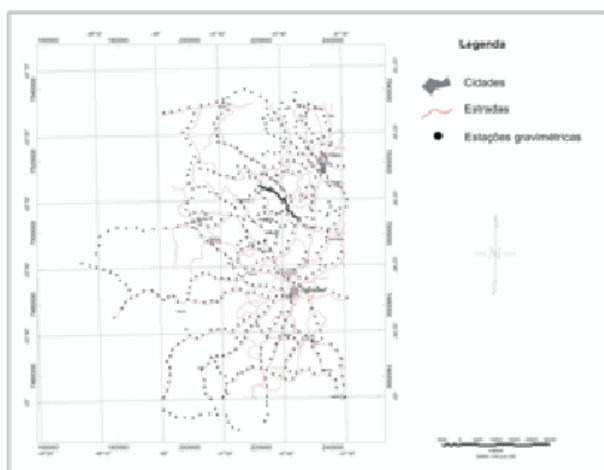


Figura 3 Mapa de pontos das estações gravimétricas, principais cidades, rodovias e estradas de acesso.

Os valores das coordenadas verticais (altitude) de cada estação levantada, foram obtidos por meio da técnica DGPS (*Diferencial Global Positioning System*), com um aparelho receptor modelo Pathfinder Pro-XR da Trimble. As correções altimétricas foram feitas usando-se a estação base da Santiago e Cintra localizada no Campus da UNESP, cidade de Rio Claro – São Paulo. O levantamento gravimétrico foi executado ao longo das principais rodovias e estradas vicinais com uma separação máxima de dois quilômetros de cada estação. A estação base de referência para a redução dos valores gravimétricos localiza-se na cidade de Rio Claro e encontra-se referenciada a Rede Gravimétrica Secundária de São Paulo do Instituto Astronômico e Geofísico IAG/USP. A estação base também está referenciada a Rede Gravimétrica Internacional de 1971 (IGSN71, *International Gravity Standardization Net*). As fórmulas usadas para a redução dos dados (correção de latitude, de maré, deriva, anomalia Bouguer e *free-air*) assim como o elipsóide de referência de 1967 foram

aplicados de acordo com Telford (1976). A geração de uma base de dados com as estações gravimétricas e suas coordenadas, redução dos dados, geração dos grids e mapa da anomalia Bouguer foram elaborados dentro de rotinas executáveis próprias do *software* OASIS MONTAJ da Geosoft *Inc.*

Características do mapa da anomalia Bouguer

O *grid* para a elaboração do mapa foi gerado em uma rotina do *software*. É formado por um total de 595 estações gravimétricas e as interpolações das coordenadas X, Y, e Z (anomalia Bouguer) foi realizada através do método da interpolação da mínima curvatura. Para cada célula foi empregado um espaçamento mínimo de 1.000 metros. O *grid* é composto por 77 X 97 pontos (direções X e Y respectivamente). Na localização geográfica das estações foi empregado o sistema de coordenadas UTM, zona 23 sul do meridiano de Greenwich. O elipsóide de referência utilizado foi o SAD 69 para a América do Sul (IBGE). Para a obtenção dos valores da anomalia Bouguer nos cálculos de redução foi usado o valor médio da densidade da crosta de 2,67 g/cm² (Figura 4).

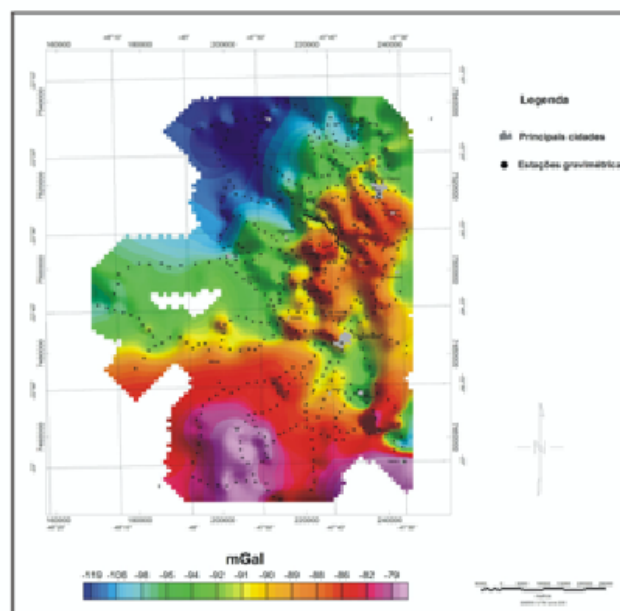


Figura 4 Mapa dos valores calculados da anomalia Bouguer, principais cidades e estações gravimétricas.

Discussões e Conclusões

Os valores gravimétricos observados na área a partir do mapa da anomalia Bouguer forneceram subsídios para uma interpretação acerca do arcabouço geológico, geofísico e estrutural nesta região da Bacia Sedimentar do Paraná. As anomalias apresentam valores significativos e concentrados principalmente nas porções sul e oeste do mapa gravimétrico. Na porção S, anomalias chegam a variações em torno de 20 mGal e possuem um padrão circular e de alto gradiente horizontal chegando a valores superiores a 10 mGal/km.

Na porção oeste do mapa, as anomalias, também de alto gradiente horizontal (10 mGal/km) as anomalias apresentam um padrão linear marcante, sendo, uma provável resposta aos *trends* existentes na área e, também, impostos por falhamentos correlacionados a região do Alto Estrutural de Pitanga. Os valores gravimétricos apresentados e as respectivas anomalias observadas no mapa, permitem uma relação direta com estudos geofísicos e geológicos anteriores realizados na região dos altos estruturais (SOARES, 1971; SOARES, 1974; CASTRO, 1973; SOUZA FILHO, 1983; RICCOMINI, 1992; RICCOMINI, 1995; RICCOMINI, 1997; SOUSA, 1997; SOUSA, 2002). Essas anomalias possuem, também, características, feições e distintas geometrias diretamente relacionadas as diferentes propriedades físicas, embora sejam sensíveis às limitações impostas pelos métodos da gravimetria. As feições contrastantes e lineares, observadas na região dos altos estruturais, apresentam continuidade e são concordantes com os lineamentos reconhecidos na Bacia em estudos anteriores com direções preferências proeminentes de direções NE-SW, NW-SE e, em menor número, direções E-W e N-S (FULFARO *et al.*, 1982; ZALÁN, *et al.*, 1987; ZALÁN, 1990).

O mapa da anomalia Bouguer gerado e seus fortes gradientes horizontais observados, associado e integrado a perfis geológicos e modelos, serve como subsídio para uma melhor compreensão do arcabouço estrutural da área e auxilia também, numa interpretação e determinação dos limites dessas estruturas, assim como sua íntima correlação com a evolução da Bacia Sedimentar do Paraná e sua histórica polifásica.

Referencias Bibliográficas

- ANDRADE, S.M.; SOARES, P.C. – 1971 - Geologia de Semi-detalle no centro leste de São Paulo. Rio de Janeiro, Petrobrás, DESUL, relatório n. 407, 52 p.
- BÓSIDO, V.J. – 1973 - Geologia da Área de São Pedro – SP. Tese de Doutorado em Geociências – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro – SP, 125p.
- CASTRO, P.R.M. – 1973 - Contribuição ao estudo da estrutura do Pau d'Alho (Piracicaba-SP). Tese de Doutorado em Ciências – Faculdade de Engenharia de Limeira, Universidade de Campinas. 87p.
- COLLON A. – 1897 - Le petrole dans les environs du Mont de Bofete et de Porto Martins, dans l'Etat de São Paulo. Instituto Geográfico e Geológico, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, 69 p.
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil) – 2001 - Mapa geológico do Brasil. In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas na escala 1:2.500.000. CD-Rom 3.
- HASUI, Y.; HARALYI N.L.E.; CAMPANHA, V.A.; HAMZA, V.M.; GALLI V.A.; FRANGIPANI, A.; PULEGHINI F., P. - 1989 - Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo, IPT, relatório 27394 - Pró-Minério.
- OLIVEIRA, E.P. – 1920 - Rochas petrolíferas do Brasil. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, p.101-102.
- QUINTAS M.C.L. – 1994 - O embasamento da Bacia do Paraná: reconstrução geofísica de seu arcabouço. São Paulo. Tese - Doutorado - Instituto de Astronomia e Geofísica, Universidade de São Paulo. 218p.
- RICCOMINI, C. Estilos estruturais da região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. Bol. IG-USP, Publicação Especial, n. 12, p. 93-94. 1992.
- RICCOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondwânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. 1995. 100 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências; n. 27, v. 2, p. 153-162. 1997.
- SOARES, P.C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. In: CONGR. BRAS. GEOL., SBG, n. 28, 1971, Porto Alegre, **Anais...**, n.1, p. 107 - 121.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. 1973 – Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGR. BRAS. GEOL., 27, Aracaju, SBG. Anais., Aracaju, SBG, V. 1, p. 243 – 56.
- SOARES, P. C.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, P. R. M. 1973 – Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGR. BRAS. GEOL., 27, Aracaju, SBG. Anais..., Aracaju, V. 1, p. 209 – 28.
- SOARES, P.C. – 1974 - Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. Anais, Porto Alegre, SBG, v. 4, p. 107-121.
- SOUZA, M.O.L. – 1997 - Caracterização estrutural do Domo de Pitanga – SP. Dissertação de Mestrado em Geociências – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Rio Claro.116p.
- SOUZA, M.O.L. – 2002 - Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Ártemis, Pau d'Alho e Jibóia – Centro do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado em Geociências – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Rio Claro. 206p.
- SOUZA FILHO, E. E. – 1983 - Tectônica da região de Rio Claro e Piracicaba - Domo de Pitanga. SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA,4., 1983, São Paulo. Boletim..._São Paulo: SBG. p.191-196.
- STEWART, K.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M. - 1996 - 3-D, ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. Earth and Planetary Science Letters, v. 143, p.95 -109.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. – 1976 - Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University, 860p.

WASHBURNE, C.W. -1930- Geologia do Petróleo do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção, Mineral Ministério de Agricultura, 228 p.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP - Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo processo 04/00235-9 pelo suporte financeiro destinado a este estudo e ao Departamento de Geologia Aplicada da UNESP (DGA) pelo uso de equipamentos e laboratórios de processamento de dados.