

Modelo gravimétrico-magnético do Gráben de Paranaguá-PR

Luís Gustavo de Castro*, LPGA/UFPR, Brazil

Francisco José Fonseca Ferreira, LPGA/UFPR, Brazil

Copyright 2007, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 10th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 November 2007.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 10th 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

This study presents a 2D gravimetric-magnetic model of the continental portion of the Paraná state coastal plain which is related with the Ponta Grossa Arch central region. Through simultaneous inversion of the gravimetric and magnetic data it was generated a model of the top of the basement underlying the sediments of this region. The model includes the density and magnetic susceptibility of the Cenozoic sediments, basement rocks and diabase dykes, and shows the variations of deep to the top of the basement, that reaches 148 meters in the deepest point. Using the thickness of the dykes calculated from this model it was possible estimate a crustal extension of 22% and a frequency about 2 dykes/km.

Introdução

A região da planície costeira paranaense vem sendo estudada há mais de meio século por diversos autores. O conhecimento das unidades do litoral paranaense e de suas relações estratigráficas, constitui atualmente uma sólida base de dados a partir da qual é possível traçar a evolução dos processos de formação desta região do estado. Contudo, a falta de informações sobre a conformação do substrato dos sedimentos, constitui uma lacuna na sua história geológica.

A evolução do conhecimento geológico do embasamento, em geral, vem sendo suportada pela integração de informações diretas, derivadas de dados de poços, e indiretas baseadas em levantamentos geofísicos. Neste sentido, Souza (1995) e Souza et al. (1996), com base em levantamentos gravimétricos e magnetométricos, propuseram um modelo geofísico-geológico do embasamento da planície costeira Cananéia – Iguape, litoral sul do estado de São Paulo.

De forma semelhante, o presente estudo submete à apreciação um modelo gravimétrico-magnético da porção continental da planície costeira paranaense localizada na Figura 1, controlado por dados de profundidade ao topo do embasamento obtidos de poços tubulares profundos.

Material e métodos

Para o presente estudo foram utilizados os métodos geofísicos gravimétrico e magnético, aliados a técnicas de posicionamento por receptores GPS (Global Positioning System), cujos dados foram tratados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Posicionamento das estações geofísicas

O posicionamento das estações gravimétricas, espaçadas de 500 metros, foi realizado com base em cartas topográficas na escala 1:50.000 (DSG e IBGE) e em dados plani-altimétricos obtidos por receptores GPS. Os dados altimétricos foram adquiridos com precisão horizontal nominal do receptor GPS de $0.005m \pm 1ppm$ e precisão vertical de $0.01m \pm 2ppm$.

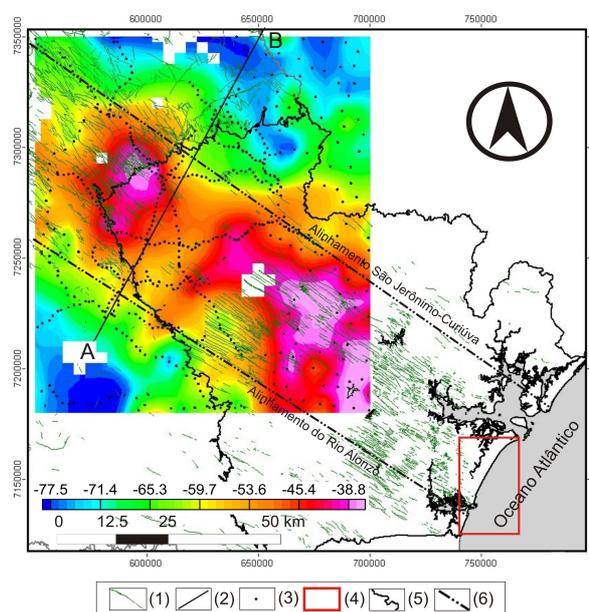


Figura 1 – Localização da área de estudo indicando o alto gravimétrico no contexto da região central do Arco de Ponta Grossa. (1) diques; (2) perfil gravimétrico AB; (3) estações gravimétricas (LAG-USP); (4) área de estudo; (5) escudo paranaense; (6) alinhamentos estruturais-magnéticos (modificado de Ferreira, 1982a,b e Mineropar, 2001).

As estações magnetométricas foram espaçadas de 25 em 25 metros, utilizando o posicionamento de algumas referências anteriormente descritas, além dos pontos inicial e final de cada perfil.

Levantamento e pré-processamento dos dados gravimétricos

O levantamento gravimétrico envolveu 111 estações, espaçadas de 500 metros e distribuídas ao longo de 55 quilômetros. As medições da aceleração da gravidade foram adquiridas por um gravímetro digital com precisão nominal de $5 \mu Gal$, pertencente ao LPGA/UFPR, simultaneamente ao posicionamento das estações e obtenção dos dados altimétricos, ao longo de estradas e ruas do litoral paranaense. O perfil foi realizado na

direção NE-SW, aproximadamente paralelo à linha de costa, partindo do Centro de Estudos do Mar (CEM-UFPR), no Balneário de Pontal do Sul, até a foz do rio Saí-guaçu, na localidade de Barra do Saí (Fig. 2). Inicialmente foram calculadas as derivas estática e dinâmica, além da correção de maré, esta última realizada automaticamente pelo instrumento. Em seguida foram efetuadas as reduções Ar Livre e Bouguer. Devido à falta de informações altimétricas detalhadas das regiões externas à área do levantamento, a correção de terreno foi realizada utilizando apenas dados altimétricos restritos ao perfil levantado. Posteriormente, as anomalias Bouguer foram submetidos ao processo de separação regional-residual, através do método polinomial, cujos resultados constituiu a base de dados empregada na inversão e interpretação gravimétrica.

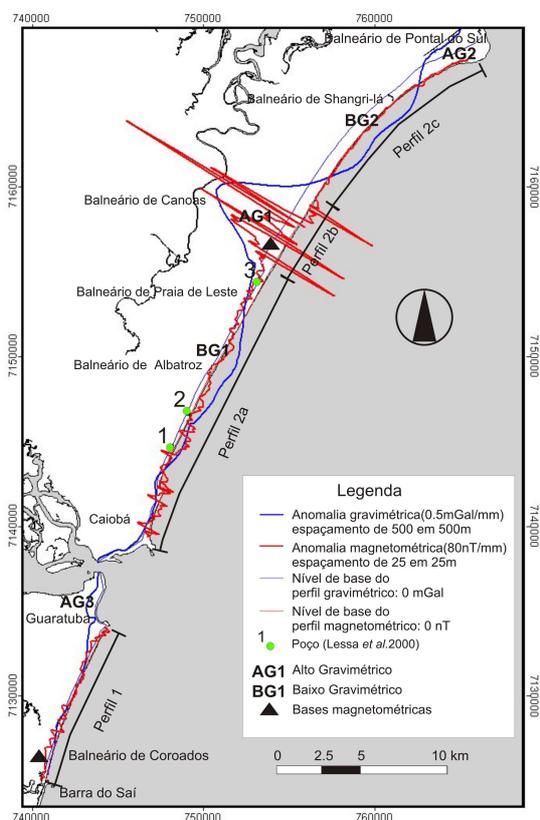


Figura 2 –Perfis gravimétricos e magnetométricos residuais sobrepostos, com indicação das divisões do perfil magnético 2.

Levantamento e pré-processamento dos dados magnetométricos

O levantamento magnetométrico (Fig. 2) envolveu 1787 estações, espaçadas de 25 metros e distribuídas ao longo de cerca de 45 quilômetros. Foram realizados dois perfis, na mesma direção NE-SW, igualmente paralelos à linha de costa, com o objetivo de cruzar perpendicularmente à direção preferencial da região central do Arco de Ponta Grossa, entre os alinhamentos São Jerônimo – Curiúva e do Rio Alonzo (Fig. 1). As medições do campo magnético total foram adquiridas

com dois magnetômetros pertencentes ao LPGA/UFPR: um ao longo dos perfis (precisão nominal de 0.1nT) e outro (precisão nominal de 1nT), em duas bases fixas, para monitorar a variação diurna do campo geomagnético. Em ambos os instrumentos foram registradas três leituras por estação, tomando-se posteriormente as médias. Para o registro nas bases, as leituras foram realizadas com intervalos de cinco minutos. O primeiro perfil partiu da foz do rio Saí-guaçu, na localidade de Barra do Saí, e foi finalizado no Morro do Cristo, em Guaratuba, totalizando 9.825 m com 391 estações. A base do perfil 1 foi estabelecida no Balneário de Coroados (Fig. 2). O segundo perfil foi iniciado nas proximidades do Morro do Boi, em Caiobá, e culminou no Balneário de Pontal do Sul, totalizando 35.200m com 1.396 estações. A base do perfil 2 foi implantada no Balneário de Praia de Leste (Fig. 2). O pré-processamento dos dados magnetométricos envolveu essencialmente a correção da variação diurna do campo geomagnético e a remoção posterior de um nível de base médio, de 22.900nT, considerado representativo do campo principal da Terra na época do levantamento.

Modelagem e inversão

O processamento dos dados foi realizado por um software que permite a modelagem e inversão simultânea, bidimensional e tridimensional, de dados gravimétricos e magnetométricos. Os métodos utilizados pelo pacote para calcular a resposta do modelo gravimétrico-magnético são baseados em Talwani et al. (1959) e Talwani & Heitzler (1964), fazendo uso do algoritmo descrito por Won & Beavis (1987). O processo é iniciado com a concepção de um modelo direto, definindo-se a forma, a disposição dos corpos e as propriedades físicas dos elementos geológicos envolvidos. Os dados da profundidade do embasamento de três poços situados ao longo do perfil gravimétrico, foram obtidos da compilação realizada por Lessa et al. (2000), os quais foram introduzidos para gerar o modelo direto com referência na geologia local. Os valores de densidade do modelo foram os seguintes: (i) sedimentos indiferenciados, densidade média de 2.0 g/cm³, variando entre 1.8 e 2.2 g/cm³; (ii) embasamento indiferenciado, densidade média de 2.8 g/cm³, oscilando de 2.59 a 3.00 g/cm³ e (iii) diques básicos, densidade média de 2.91 g/cm³, nutando de 2.5 a 3.2 g/cm³. As densidades foram obtidas da bibliografia disponível, uma vez que não foram realizadas medidas nos materiais considerados. Os parâmetros do campo magnético da Terra correspondem aos valores da porção central da área na época do levantamento, ou seja: declinação -19°, inclinação -35° e intensidade total 22.895nT. Dados paleomagnéticos obtidos de Raposo (1992), foram primeiramente aplicados na modelagem/inversão de diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa por Portela Filho & Ferreira (2003) e Portela Filho et al. (2005), os quais também foram empregados neste trabalho. A susceptibilidade média utilizada foi de 0.0276 SI, variando de 0.0125 a 0.125 SI.

Como não se observou influência significativa do mergulho dos diques nas anomalias resultantes, os mesmos foram considerados verticais.

Resultados Obtidos

Gravimetria

O comportamento regional das anomalias gravimétricas pode ser observado na Figura 1. Nota-se um alto gravimétrico orientado segundo NW-SE, o qual corresponde ao trend de maior concentração de diques de diabásio, relacionado à região central do Arco de Ponta Grossa. Ferreira et al. (1989a,b) interpretaram um alto gravimétrico semelhante, na mesma direção, localizado na região do Alinhamento de Guapiara (limite setentrional do Arco de Ponta Grossa), como um soerguimento do manto da ordem de 5 km e afinamento crustal da ordem de 14%. Tal modelo contempla uma seção crustal com grande concentração de diques, em correspondência ao alto gravimétrico e à geologia, cuja densidade (2.87 g/cm³) é ligeiramente superior à da crosta continental adjacente (2.85 g/cm³). Com base nesta proposta, foi concebido o modelo da Figura 3, através da modelagem/inversão dos dados do perfil AB (Fig.1), o qual, em adição, envolve as profundidades, densidades e velocidades das ondas P de camadas crustais e do manto superior, baseadas em Bassini (1986) e Rosales (2004).

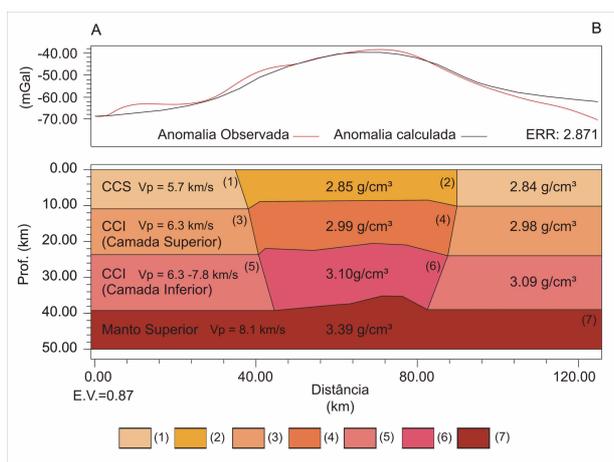


Figura 3 – Modelo gravimétrico do perfil AB (Fig. 1) baseado em Bassini (1986), Ferreira et al. (1989a,b) e Rosales (2004). CCS – crosta continental superior; CCI – crosta continental inferior; (1) CCS sem diques; (2) CCS com diques; (3) CCI camada superior sem diques; (4) CCI camada superior com diques; (5) CCI camada inferior sem diques; (6) CCI camada inferior com diques; (7) manto superior.

O modelo (Fig. 3) apresenta a crosta continental dividida em superior e inferior, sendo esta última segmentada em duas camadas: inferior e superior (Tab.1).

Divisões	Prof. (km)	Espess. (km)	Densidade (g/cm ³)		Vp (km/s)
			s/ diques	c/ diques	
CCS	0 - 11	11	2.84	2.85	5.7
CCI	c.sup	11-24	2.98	2.99	6.3
	c.inf	24-39	3.09	3.10	6.3-7.8
Manto	>39	-	3.39		8.1

Tabela 1 – Dados utilizados na modelagem/inversão do perfil AB (Fig.1).

Os dados de profundidade, espessura, densidade e velocidade das ondas P, utilizados na modelagem/inversão, também podem ser visualizados na Tabela 1.

Desta forma, o alto gravimétrico da Figura 2 pode ser interpretado por um soerguimento do manto da ordem de 4 km, correspondente a um afinamento crustal de cerca de 10%, associado a um segmento da crosta continental com grande concentração de diques, a qual está inserida na região central do Arco de Ponta Grossa (Fig.1). Conforme ainda a Figura 1, a área de estudo está situada no prolongamento para sudeste, rumo à plataforma continental, do alto gravimétrico.

Separação regional-residual

O processo de separação regional-residual foi realizado aplicando-se o ajuste polinomial por superfícies de tendência, com o objetivo de separar o sinal regional das respostas residuais de interesse. Após a geração de superfícies de tendência do 1º ao 4º, e conseqüente subtração destas da anomalia Bouguer, considerou-se o perfil de quarta ordem como o mais representativo do campo gravimétrico residual.

O perfil residual da Figura 2 destaca um alto gravimétrico expressivo (AG1), em sua região centro-norte, correspondente ao Balneário de Canoas, ladeado por dois baixos gravimétricos (BG1 e BG2) situados, respectivamente, nos Balneários de Albatroz e Shangri-lá (Fig.2). Provavelmente estas feições gravimétricas residuais constituem desníveis do topo do embasamento. Tal contexto tectônico é previsível na região central do Arco de Ponta Grossa (Ferreira, 1982a,b). Além do alto gravimétrico de Canoas (AG1), outros altos gravimétricos de menor expressão são indicados na Figura 2: um na porção setentrional da área, em Pontal do Sul (AG2), e outro no extremo meridional, em Guaratuba (AG3).

Magnetometria

Os dados dos perfis magnéticos 1 e 2 foram corrigidos da variação diurna, reduzidos, pela remoção valor do IGRF e a curva resultante foi suavizada pela aplicação de um filtro low pass. Devido às altas amplitudes da resposta magnética encontrada na porção centro-norte do perfil 2 (cerca de 10.000nT), decidiu-se dividi-lo em três segmentos (2a, 2b e 2c), evitando que as variações menores fossem mascaradas pelas anomalias de amplitude maior, correspondentes ao perfil 2b. Na Figura 2, é possível visualizar os perfis residuais tanto o gravimétrico como o magnetométrico sobrepostos. Nota-se ainda, na região do Balneário de Canoas, uma correspondência entre o alto gravimétrico AG1 e a zona de predominância das grandes amplitudes das anomalias magnéticas do perfil 2b.

Modelagem/inversão gravimétrica

A modelagem/inversão dos dados gravimétricos foi realizada separadamente (Fig. 4a), com o objetivo posterior de verificar a influência dos diques no modelo final (Fig. 4b).

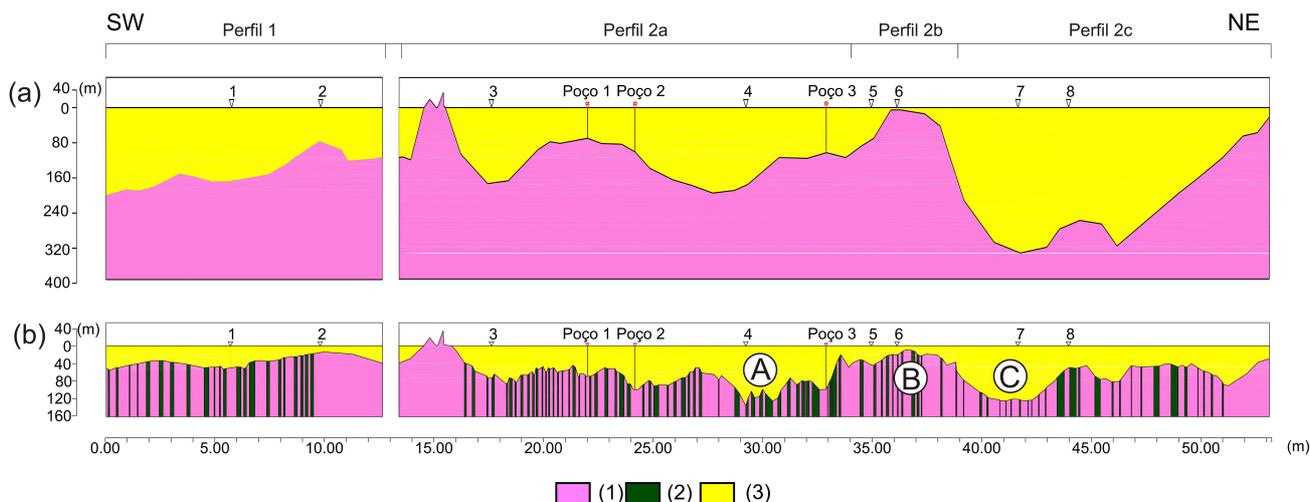


Figura 4 – Modelo geofísico-geológico do Gráben de Paranaguá na área de estudo. (a) modelo gravimétrico; (b) modelo gravimétrico-magnético. (1) embasamento indiferenciado, (2) diques, (3) sedimentos indiferenciados, (A) baixo estrutural de Albatroz, (B) alto estrutural de Canoas, (C) baixo estrutural de Shangri-lá. Poço 1 = 70m, Poço 2 = 100m, Poço 3 = 100m.

Desta forma, tais modelos são derivados das modelagens/inversões somente dos dados gravimétricos (Fig. 4a) e do conjunto dos dados gravimétricos e magnéticos (Fig. 4b). A Figura 5 mostra o modelo gravimétrico do perfil 2a (vide localização nas Figuras 2 e 4) e as anomalias observadas e calculadas. O processamento foi realizado considerando-se fixas as profundidades do embasamento determinadas pelos poços. Foram inseridos pontos de referência (1 a 8, Fig. 4), para posterior confronto das profundidades obtidas pelos dois tipos de modelo.

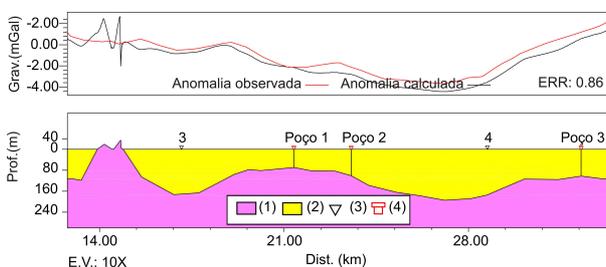


Figura 5 – Modelo gravimétrico do perfil 2a indicando as anomalias observadas e calculadas. (1) embasamento; (2) sedimentos cenozóicos; (3) pontos de referência; (4) poços.

Modelagem/inversão gravimétrica e magnética

O modelo obtido por inversão simultânea dos dados gravimétricos e magnéticos pode ser observado na Figura 4b. A Figura 6 mostra o modelo gravimétrico-magnético do perfil 2a (vide localização na Figura 4) e as anomalias observadas e calculadas. Conforme indicado na Tabela 2, os pontos de referência mostram profundidades distintas ao topo do embasamento, para os modelos gravimétrico e gravimétrico-magnético. A partir de tais dados é possível verificar que as profundidades são maiores no modelo

Perfil	Ponto	Modelo Gravimétrico Prof. (m)	Modelo Grav/Mag Prof. (m)
1	1	152	84
1	2	76	16
2a	3	170	67
2a	4	174	37
2b	5	70	20
2b	6	5	7
2c	7	332	148
2c	8	264	64

Tabela 2 – Pontos de referência com profundidades ao topo do embasamento calculadas para os modelos gravimétrico e gravimétrico-magnético.

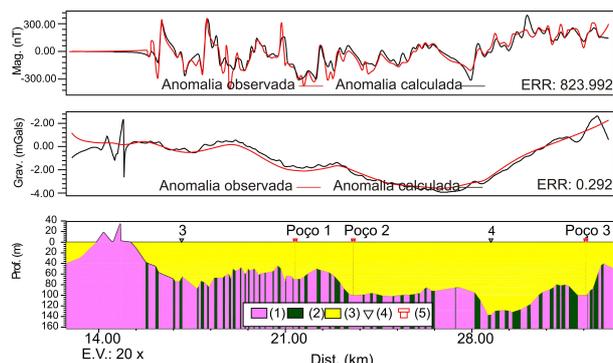


Figura 6 – Modelo gravimétrico-magnético do perfil 2a. (1) embasamento, (2) diques, (3) sedimentos cenozóicos, (4) pontos de referência, (5) poços.

gravimétrico, em comparação ao modelo gravimétrico-magnético. Isto mostra a influência da densidade dos diques na inversão dos dados. Esta variação de profundidade nos mesmos pontos é atribuída à diferença de densidade entre o embasamento e os diques básicos. Assim, é possível constatar que em segmentos crustais

contaminados por intrusões básicas, como no contexto do Arco de Ponta Grossa, a inversão simultânea de dados gravimétricos e magnetométricos, certamente, é mais adequada.

Na Figura 7 pode-se visualizar em perspectiva e associado MDE, o modelo geofísico-geológico do Gráben de Parangará na área de estudo.

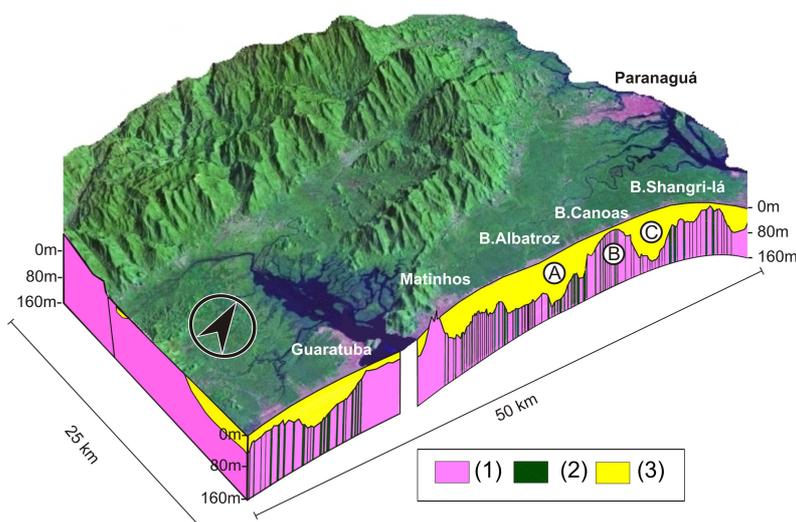


Figura 7 - Modelo geofísico-geológico do Gráben de Parangará na área de estudo associado ao MDE. (1) embasamento indiferenciado; (2) diques; (3) sedimentos indiferenciados; (A) baixo estrutural de Albatroz; (B) alto estrutural de Canoas; (C) baixo estrutural de Shangri-lá.

Estimativa da extensão crustal

Tendo como base as espessuras dos diques de diabásio calculadas neste trabalho, foi possível estimar a extensão crustal mínima ao longo dos perfis magnéticos. Tal extensão foi considerada mínima, uma vez que o fraturamento rúptil teria sido precedido em certo grau por extensão dúctil, esta não estimada (Ferreira et al. 1989a,b). O procedimento para esta estimativa, também utilizado por Portela Filho & Ferreira (2003) e Portela Filho et al. (2005), foi baseado na equação (1):

$$E = (\sum e / L \cos \theta) * 100 \quad (1)$$

onde E é o estiramento crustal mínimo, $\sum e$ é a somatória das espessuras dos diques, L é o comprimento do perfil e θ é o ângulo entre a direção perpendicular aos diques e a orientação do perfil, que no caso foi de sete graus. Os resultados destes parâmetros (Tab. 3) indicaram uma extensão média de 22% e uma frequência pouco superior a 2 diques/km.

Perfil	Nº de diques	Frequência (diques/km)	e(m)	L (m)	E (%)
1	22	1.7	2688.8	12768.3	20.9
2a	52	2.5	5637.7	20541.5	27.2
2b	11	2.2	876.0	4877.1	17.8
2c	27	1.8	2377.3	14301.9	16.5
Total	112	2.13	11579.9	52488.8	21.9

Tabela 3 – Estimativas de extensão crustal na área de estudo.

Conclusões

O modelo gravimétrico-magnético da área de estudo representa a continuidade da região central do Arco de Ponta Grossa rumo à plataforma continental. Tal modelo pode refletir movimentos verticais opostos de blocos do embasamento sob os sedimentos da planície costeira paranaense. Feições tectônicas como o alto estrutural de Canoas e os baixos estruturais de Albatroz e Shangri-lá (AG1, BG1 e BG2, respectivamente), além dos altos de Pontal do Sul e Guaratuba (AG2 e AG3, respectivamente), seriam decorrentes deste evento. De forma semelhante à interpretação de Souza (1985) e Souza et al. (1996), para o substrato da planície costeira Cananéia-Iguape, os altos e baixos estruturais, como o alto de Canoas, que encerra anomalias magnéticas da ordem de 10.000 nT, são possivelmente limitados por zonas de falhas normais, de direção NW-SE, também preenchidas por diques de diabásio, relacionadas às reativações cenozóicas de estruturas do Arco de Ponta Grossa. Tais zonas de falhas denotam forte gradiente vertical, como se pode observar, por exemplo, na Figura 4, em apenas 3 km de distância, o contraste de cerca de 93 metros de profundidade ao topo do embasamento, entre o poço 3 (perfil 2a), de 100 metros, e a espessura calculada da cobertura sedimentar sobre o alto estrutural de Canoas, próxima de 7 metros (ponto de referência 6, perfil 2b). Já os baixos estruturais contíguos encerrariam espessuras máximas de sedimentos da ordem de 150 metros (Tab. 2).

Por outro lado, a estimativa de extensão crustal alcançada no presente trabalho (22%) é superior às obtidas por outros autores (18% - Ferreira et al. 1989a,b; 12% - e.g. Portela Filho & Ferreira 2003), as quais foram baseadas em dados aeromagnéticos, portanto com significativa perda de resolução, como já ressaltado por Ussami et al. (1991). Assim sendo, tal discrepância pode ser explicada pelas considerações anteriores, em adição ao cerrado intervalo de amostragem (25 metros) do levantamento magnético terrestre, o qual é compatível com as espessuras médias reais dos diques (e.g. Marini et al. 1967). Quanto à frequência, os resultados também se mostraram coerentes com as observações de campo de Marini et al. (1967), na região central do APG, que indicaram 2 a 3 diques/km, excepcionalmente 4 diques/km. Finalmente, a utilização de métodos de investigação geofísica em correspondência a dados diretos, permitiu conceber um modelo geofísico-geológico, com base na modelagem/inversão simultânea de dados gravimétricos e magnéticos, supostamente representativo da topografia do embasamento e das decorrentes espessuras da cobertura sedimentar da porção continental do Gráben de Paranaguá.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Mineropar pela cessão dos dados geológicos, ao IAG-USP pela disponibilização dos dados gravimétricos regionais e ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE), Departamento de Geomática da UFPR, pelo apoio nos trabalhos de posicionamento das estações gravimétricas. Agradecem também ao Geólogo Rodoilton Stevanato, ao Engenheiro Cartógrafo Jefferson Ulisses da Cunha e ao aluno de graduação em geologia e bolsista PIBIC-CNPq José Augusto Simões Neto, todos do LPGA/UFPR, pela colaboração nos trabalhos de aquisição e processamento dos dados. Francisco J. F. Ferreira agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio concedido (processo nº 47.0689/2004-8).

Referências

Bassini, A. M. 1986. Levantamentos sismográficos na região sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 162 p.

Ferreira, F.J.F. 1982a. Alinhamentos estruturais-magnéticos da região centro-oriental da Bacia do Paraná e seu significado tectônico. In: Bacia do Paraná - Reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos. Consórcio CESP-IPT (Paulipetro), São Paulo, p. 143-166.

Ferreira, F.J.F. 1982b. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 170 p.

Ferreira, F.J.F., Monma, R., Campanha, G.A.C., Galli, V.L. 1989a. Estimativa dos graus de extensão e afinamento crustais associados ao Lineamento de Guapiara com base em modelagens aeromagnetométricas e gravimétricas. Boletim Especial, Trabalhos Apresentados. Workshop "Diques Máficos Precambrianos do Brasil", p. 67-75.

Ferreira, F.J.F., Monma, R., Campanha, G.A.C., Galli, V.L. 1989b. An estimate of the degree of crustal extension and thinning associated with the Guapiara Lineament based on aeromagnetic and gravimetric modelling. Bol. IG-USP, Série Científica, 20:69-70.

Lessa, G., Angulo, R.J., Giannini, P.C.F., Araújo, A.D. 2000. Stratigraphy and holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. Marine Geology, 165: 87-108.

Marini, O.J., Fuck, R.A., Trein, E. 1967. Intrusivas básicas jurássico-cretáceas do primeiro planalto do Paraná. In: Geologia do pré-Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do estado do Paraná (J. J. Bigarella, R. Salamuni, V. M. Pinto, eds.). Boletim Paranaense de Geociências, 23-25, 307-324.

Mineropar. Minerais do Paraná S. A. 2001. Mapa geológico do estado do Paraná (arquivo digital).

Portela Filho, C.V. & Ferreira, F.J.F. 2003. Estimativas das taxas de extensão crustal da região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) com base em modelagens aeromagnéticas. Resumos Expandidos VIII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, RJ (CD-ROM).

Portela Filho, C.V.; Ferreira, F.J.F., Raposo, M.I.B., Strugale, M. 2005. Estimativa da extensão crustal do Arco de Ponta Grossa com base em modelagens aeromagnéticas na região de Apucarana-PR. Boletim de Resumos Expandidos X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Curitiba-PR, p. 134-136.

Raposo, M.I.B. 1992. Paleomagnetismo do enxame de diques do Arco de Ponta Grossa. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 104 p.

Rosales, M.J.T. 2004. Integração de dados gravimétricos terrestres e aeromagnéticos e sua aplicação do estudo geológico-estrutural da Faixa Apiaí. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 271 p.

Souza, L.A.P. 1995. A planície costeira Cananéia-Iguape, litoral sul do estado de São Paulo: um exemplo de utilização de métodos geofísicos no estudo de áreas costeiras. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 207 p.

Souza, L.A.P., Tessler, M.G., Galli, V.L. 1996. O Gráben de Cananéia. Rev. Bras. Geoci. 26(3):139-150.

Talwani, M., Worzel, J.L., Landisman, M. 1959. Rapid gravity computations for two dimension bodies with the application to the Mendocino submarine fracture zone. Journal of Geophysics Research, (69): 49-69.

Talwani, M. & Heirtzler, J.R. 1964. Computation of gravity anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary shapes. Geological Sciences, 1(9): 464-480.

Ussami, N., Kolisnyk, A., Raposo, M.I.B., Ferreira, F.J.F., Molina, E.C., Ernesto, M. 1991. Detectabilidade magnética de diques do Arco de Ponta Grossa: um estudo integrado de magnetometria terrestre/aérea e magnetismo de rocha. Rev. Bras. Geoci, 21(4): 317-327.

Won, I.J. & Beavis, M. 1987. Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon: algorithms and fortran subroutines. Geophysics, 52: 232-238.