

Arcabouço geofísico-estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira

Geophysical-structural framework of southern Ribeira Belt

Luís Gustavo de Castro^{1*}, Francisco José Fonseca Ferreira¹

RESUMO: Os diversos estudos apresentados para explicar a configuração atual e a evolução da porção meridional do Cinturão Ribeira refletem a complexidade dos processos envolvidos na formação desses terrenos. Com base na análise qualitativa (realce de anomalias) e semiquantitativa (estimativas de profundidades de fontes) de dados aeromagnéticos e modelagem gravimétrica, o presente trabalho apresenta modelos geofísico-geológico-estruturais dessa região. A integração de resultados qualitativos e semiquantitativos, balizada pela geologia da área, constituiu a base para elaboração dos modelos. A aplicação de métodos de realce de anomalias (análise qualitativa) mostrou a continuidade de lineamentos correspondentes à Zona de Falha de Taxaquara e às zonas de cisalhamento Itapirapuã, Morro Agudo e Lancinha sob a Bacia do Paraná. Tal interpretação foi validada pelas soluções de Euler, que mostram profundidades superiores a 2.000 m, relacionadas a essas estruturas, tanto no embasamento como em seus prolongamentos sob a Bacia do Paraná. Os modelos gravimétricos, elaborados em níveis de profundidade distintos, indicaram um afinamento crustal de NW para SE, com porções de espessura crustal diferenciadas limitadas pelas zonas de cisalhamento.

PALAVRAS-CHAVE: Aeromagnetometria; Modelos gravimétricos; Zonas de cisalhamento.

ABSTRACT: The diversity of works and models presented to explain the evolution and current setting of southern portion of the Ribeira Belt reflects the complexity of the processes involved in such terrains. Based on qualitative (anomalies enhancement) and semi-quantitative (source depths detection) analysis of aeromagnetic data and gravity data modeling, this work presents geophysical-geological-structural models of this region. The integration of qualitative and semi-quantitative analysis, constrained by the geological data, formed the basis for the elaboration of models. The application of methods of anomalies enhancement (qualitative analysis) showed that the lineaments of Taxaquara Fault Zone and Itapirapuã, Morro Agudo and Lancinha shear zones spread under the Paraná Basin. This interpretation was validated by Euler solutions, which located sources with depth greater than 2,000 m, related to these structures. The gravity models, which were elaborated in distinct depth levels, indicate a crustal thinning from NW to SE, with different crustal thickness portions bounded by the shear zones.

KEYWORDS: Aeromagnetometry; Gravity models; Shear zones

¹Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, Centro Politécnico, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba (PR), Brasil.

E-mail: lgcastro7@gmail.com; francisco.ferreira@ufpr.br

*Autor correspondente.

Manuscrito ID: 20150007. Recebido em: 12/06/2015. Aprovado em: 06/10/2015.

INTRODUÇÃO

A distribuição espacial das unidades, assim como sua associação com as zonas de cisalhamento da porção meridional do Cinturão Ribeira, constitui um desafio já discutido em diversos trabalhos (Fiori 1992; Basei *et al.* 1992, 1998, 2008; Campanha 2002, Heilbron *et al.* 2008). Contudo, poucos são os que se utilizam da modelagem de dados de campos potenciais (*e.g.* gravimetria e magnetometria) como ferramenta para esse propósito (Rosales 2004, Ferreira *et al.* 1988).

O presente estudo se propõe a verificar a distribuição espacial das zonas de cisalhamento neoproterozoicas na porção meridional do Cinturão Ribeira, assim como sua continuidade sob a Bacia do Paraná, com base no processamento, na interpretação e na modelagem de dados aeromagnéticos e gravimétricos terrestres.

A análise resultou da integração de mapas de realce de anomalias (análise qualitativa), estimativas de profundidades de fontes e análise espectral (análise semiquantitativa) dos dados aeromagnéticos com mapas geológicos. Os resultados apoiaram a construção de modelos geológico-geofísico-estruturais (análise quantitativa) elaborados com base em dados

gravimétricos terrestres de três transectas regionais segundo NW-SE, perpendiculares ao *trend* estrutural regional.

A área estudada contempla a porção meridional do Cinturão Ribeira, centro-sul da Província Mantiqueira, além de áreas na Bacia do Paraná (Fig. 1). Abrange as porções sudeste do Estado de São Paulo, leste do Estado do Paraná e nordeste do Estado de Santa Catarina (Fig. 1).

O Cinturão Ribeira (CR), ou Faixa Ribeira (Almeida *et al.* 1973), na porção central da Província Mantiqueira (Almeida *et al.* 1981), é caracterizado por uma faixa de dobramentos e empurrões de direção NE-SW, com cerca de 1.400 km de comprimento, localizado ao longo do Sudeste do Brasil (Heilbron *et al.* 2000, Heilbron *et al.* 2004, Peternel *et al.* 2005).

Heilbron *et al.* (2008) sintetizam o Cinturão Ribeira como um conjunto de terrenos tectono-estratigráficos limitados por falhas de cavalgamento ou por zonas de cisalhamento transpressivas. Sua porção meridional é caracterizada por domínios NE-SW, compostos predominantemente por rochas supracrustais meso a neoproterozoicas (Campanha 2002, Basei *et al.* 2008).

De NW para SE afloram os Terrenos Apiaí, Curitiba, Luis Alves e Paranaguá (Fig. 2), os quais foram individualizados

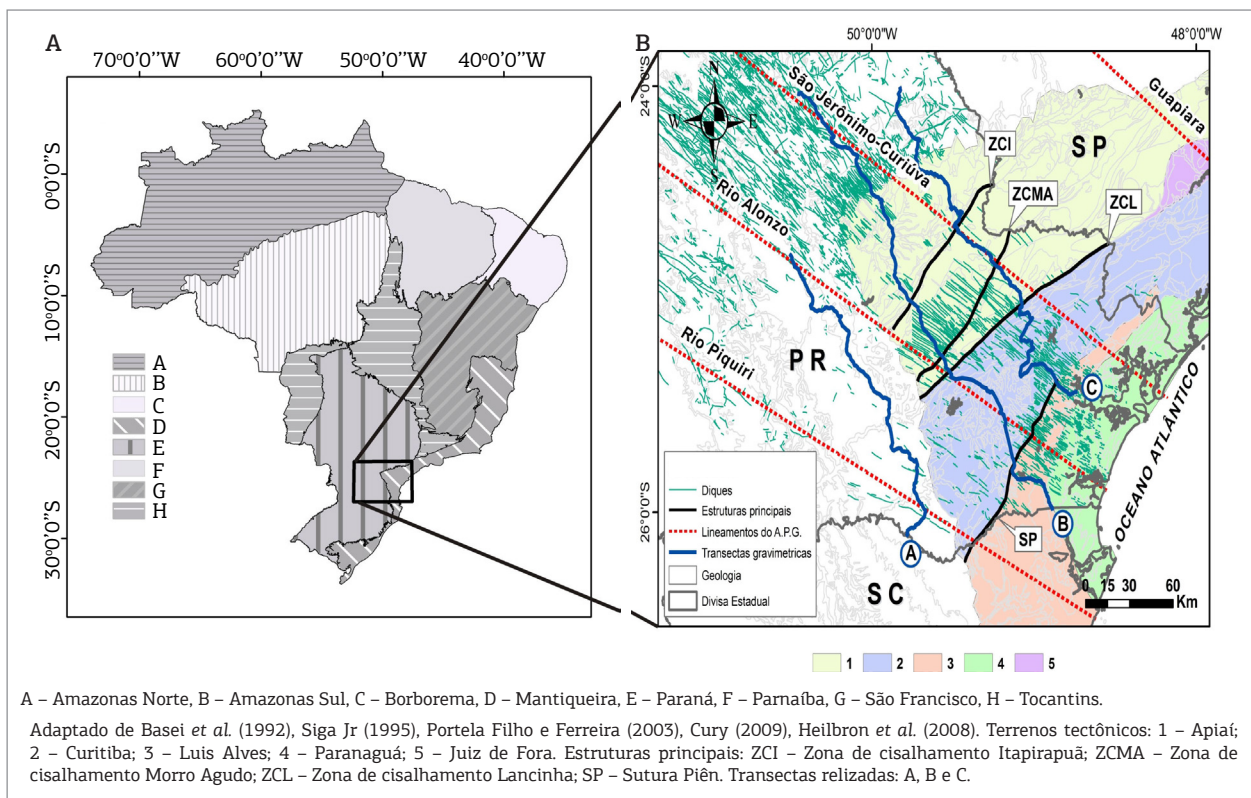


Figura 1. (A) Províncias Estruturais do Brasil indicando a área de estudo (polígono preto), modificado de Almeida *et al.* (1981) e Bizzi *et al.* (2001). (B) Compartimentação tectono-estrutural da área de estudo e alinhamentos do Arco de Ponta Grossa.

com base em estudos geológicos envolvendo características litológicas, petrográficas, estruturais, geocronológicas e geoquímicas, além de dados gravimétricos (Basei *et al.* 1992, Cury 2009).

O Terreno Apiaí é constituído por seqüências metavulcanosedimentares meso e neoproterozoicas, núcleos do embasamento paleoproterozoico e maciços graníticos neoproterozoicos, cuja associação compõe compartimentos tectônicos balizados por expressivas zonas de cisalhamento num contexto deformacional transpressivo (Fiori 1990, 1992, Campanha & Sadowski 1999, Cury 2009, Heilbron *et al.* 2008, Siga Jr. 2010).

O Terreno Curitiba é composto por gnaisses-migmáticos do Complexo Atuba gerados no Paleoproterozoico (c.a. 2.0 Ga), sobrepostos por uma sucessão metassedimentar de margem passiva representada pelos metassedimentos das seqüências Capiru, Setuva e Turvo-Cajati, afetadas por

um episódio metamórfico a 600 Ma (Heilbron *et al.* 2008, Cury 2009).

Seu limite com o Terreno Apiaí a noroeste é definido pela Zona de Cisalhamento Lancinha (ZCL), interpretada por alguns autores como uma sutura entre as duas unidades (Basei *et al.* 1998). O limite com o Terreno Luis Alves a sudeste é dado pela Zona de Cisalhamento Piên (ZCP) (Siga Jr. *et al.* 1995), cuja associação com rochas relacionadas a arco constitui para alguns autores uma evidência de subducção (Heilbron *et al.* 2008).

O Terreno Luis Alves é constituído por gnaisses granulíticos, metamorfisados em médio a alto grau (Basei *et al.* 1992, 1998). Ocorrem subordinadamente rochas migmatíticas e graníticas, básicas e ultrabásicas, além de gnaisses calciosilicáticos, kinzigitos, formações ferríferas e quartzitos (Cury 2009).

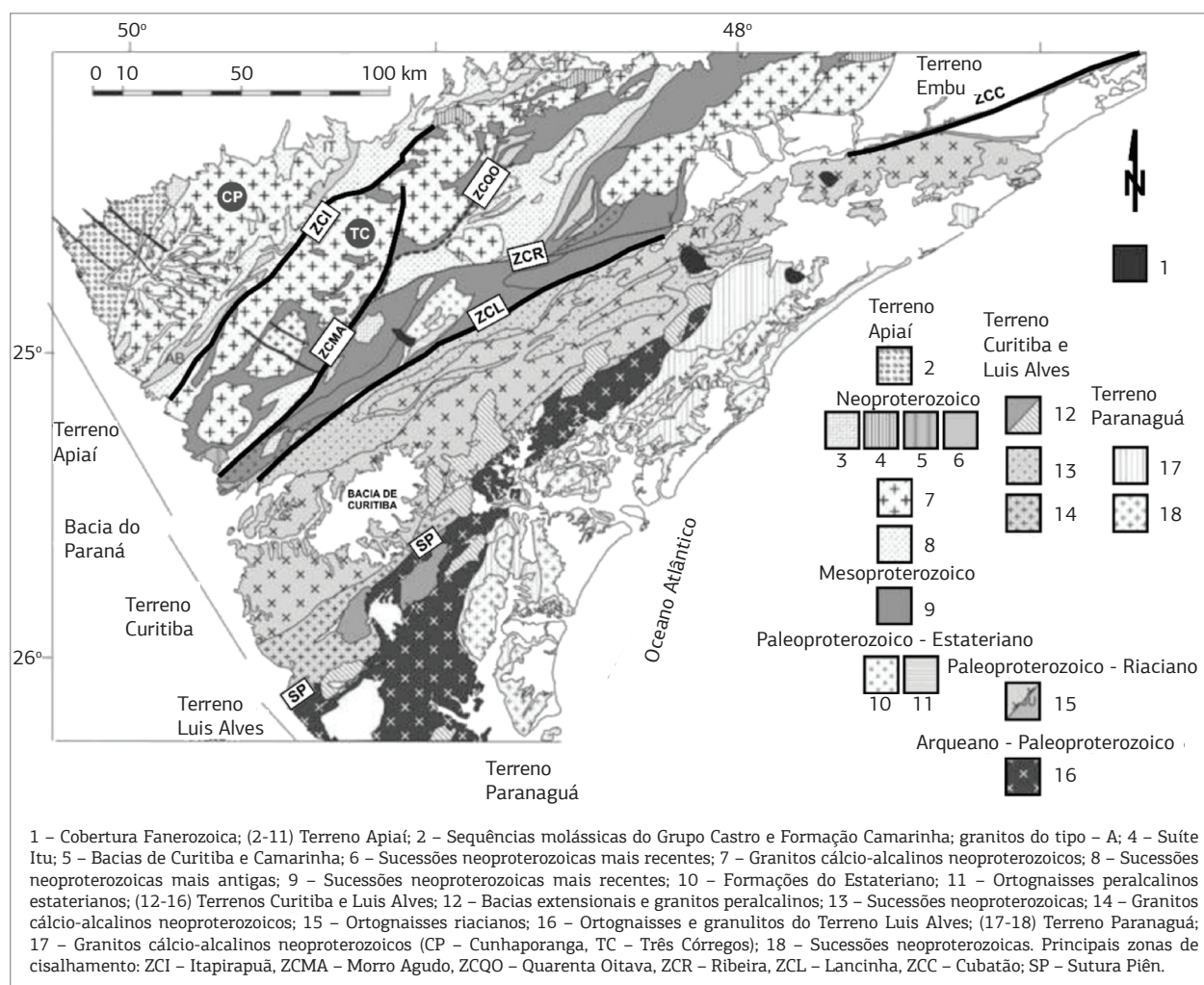


Figura 2. Mapa geológico da porção meridional da Faixa Ribeira (modificado de Heilbron *et al.* 2008).

O Terreno Paranaguá é constituído predominantemente por um complexo ígneo, composto de uma grande variedade de rochas graníticas, cujas encaixantes são gnaisses, xistos, quartzitos, mármore, rochas calciossilicáticas e anfibolitos (Cury 2009).

O contato com os terrenos Luis Alves e Curitiba é representado em sua porção sudoeste pelo lineamento do Rio Palmital, na porção oeste-noroeste pelos lineamentos Alexandra e Serra Negra, além das zonas de cavalgamento Serra Negra e Icapara em sua porção setentrional.

Com exceção do Terreno Paranaguá, os terrenos mencionados compõem o embasamento da Bacia do Paraná. A bacia, tipicamente intracratônica (Almeida *et al.* 1981, Milani e Ramos 1998), abrange uma área de aproximadamente 1.750.000 km² (Almeida *et al.* 1981), ocupando a região Sul e porções das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, além de parte do Paraguai, Argentina e Uruguai.

Seu preenchimento atinge a espessura máxima 7.000 m (Milani *et al.* 2007), sendo predominantemente siliciclástico, com carbonatos e rochas ígneas subordinadas. Comporta o registro estratigráfico entre o Ordoviciano e o Cretáceo (Zalán *et al.* 1987, Oliveira 1991, Milani e Ramos 1998).

A influência das estruturas do embasamento na instalação e evolução da bacia é consensual e foi discutida por diversos autores (Almeida *et al.* 1981, Ferreira 1982a, Soares *et al.* 1982; Cordani *et al.* 1984; Brito Neves *et al.* 1984, Milani 1997, Milani e Ramos 1998, Zalán *et al.* 1987, Quintas 1995), permanecendo controversas com relação a sua distribuição espacial e temporal.

O contexto regional se completa com o Arco de Ponta Grossa (APG), um enxame de diques de direção preferencial entre N50-60W delimitado pelos alinhamentos estruturais-magnéticos de Guapiara (Ferreira *et al.* 1981) a nordeste e do Rio Piquiri a sudoeste (Fig. 1B). Sua região central é balizada pelos alinhamentos São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo

(Ferreira 1982b, Portela Filho & Ferreira 2003). Suas extensões são superiores a 600 km, e as larguras variáveis entre 20 e 100 km (Ferreira 1982b, Portela Filho e Ferreira 2003).

A influência tectônica do APG é registrada do Devoniano, influenciando a sedimentação na Bacia do Paraná, com clímax durante a reativação Waldeniana, ao Juro-Cretáceo (Almeida 1980; Ferreira 1982b).

MATERIAL E MÉTODOS

Dados aeromagnéticos

O conjunto de dados aeromagnetométricos utilizado foi composto por oito levantamentos da base de dados de projetos aerogeofísicos do Brasil da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (www.cprm.gov.br). Os dados foram reduzidos do *IGRF- International Geomagnetic Reference Field*, de acordo com os parâmetros de aquisição (Tab. 1), micronivelados, continuados para cima (1.500 m) e interpolados por curvatura mínima (Briggs 1974), com uma célula quadrada de 500 m. Foram integrados, resultando no mapa do campo magnético anômalo (CMA) (Fig. 3A).

A confecção do mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP) (Fig. 3B) foi elaborada com base nos dados reduzidos ao polo de cada projeto, conforme a localização e respectivas datas de aquisição, e depois integrados. Para atenuar os sinais de alta frequência espacial, a malha unificada CMA-RTP foi continuada para cima (2.000 e 5.000 m), resultando, respectivamente, nos mapas das Figuras 4C e 4D. O mapa continuado para 5.000 m (CMA-RTP UW 5.000 m), observado na Figura 3D, constituiu a base da interpretação qualitativa.

Tabela 1. Especificações dos levantamentos aerogeofísicos na área de estudo.

CPRM	Contratante	Projeto	Ano	Espaçamento das linhas (m)	Altura de vôo (m)	Intervalo de amostragem (m)	Linhas (Total km)	Área do projeto (km ²)
1025	CPRM	8 - Serra do Mar Sul	1975	1.000	150	60	49.880	48.600
1039	CPRM	2 - SP-RJ Área SP	1978	1.000	150	100	52.436	58.000
2010	NUCLEBRAS	7 - Ponta Grossa - Criciúma (Área I)	1971	1.000	120	120	33.810	39.184
4009	PETROBRAS	1 - Plataforma Continental Sul	1969	5.000	700	60	52.932	219.000
4012	PETROBRAS	6 - Bacia do Paraná	1973	7.000	1500	70	20.650	116.400
4019	PETROBRAS	3 - Botucatu	1980	2.000	450	100	25.745	46.000
4023	PETROBRAS	5 - Rio Iguaçu	1980	2.000	500	100	39.600	66.486
4025	PETROBRAS	4 - Rio Ivaí	1981	2.000	450	66	25.726	48.840
						Total	300.779	642.510

Dados gravimétricos terrestres

Os dados gravimétricos terrestres foram adquiridos ao longo de três transectas regionais NW-SE, perpendiculares às zonas de cisalhamento da Lancinha, Morro Agudo e Itapirapuá, tanto no embasamento como em seus prolongamentos sob a Bacia do Paraná. Como base dos levantamentos, foram utilizadas as estações gravimétricas de Ponta Grossa, Curitiba e Jaguariaíva, integrantes da Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná (Santos Jr. 2005).

Os dados foram adquiridos com o gravímetro *Autograv* CG3, fabricação *Scintrex* (Canadá), pertencente ao LPGA/UFPR (Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada) nas transectas “A”, “B” e “C”, simultaneamente ao posicionamento realizado com um GPS 900 *Leica* (L1/L2), cedido pelo LabTopo – Laboratório de Topografia do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPR. Na transecta “D” foi empregado o gravímetro *Autograv* CG5, fabricação *Scintrex*

(Canadá), pertencente ao Pool de Equipamentos Geofísicos do Brasil (PEGBR), cedido pelo Observatório Nacional (ON), ao LPGA/UFPR. A aquisição consistiu na medida de valores da gravidade ao longo das transectas, com um espaçamento médio de 2 km adensado para 1 km no entorno das zonas de cisalhamento Itapirapuá, Morro Agudo e Lancinha. Os dados de produção são exibidos na Tabela 2.

Análise qualitativa

Sobre o mapa CMA-RTP UW 5.000 m (Fig. 3D), foram aplicados os seguintes métodos de realce de anomalias visando à interpretação do arcabouço magnético-estrutural da área de estudo: Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Nabighian 1972, 1974, Roest *et al.* 1992), Gradiente Horizontal Total (GHT) (Cordell & Grauch 1985), Inclinação ou Fase do Sinal Analítico (ISA) (Miller & Singh 1994), Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA)

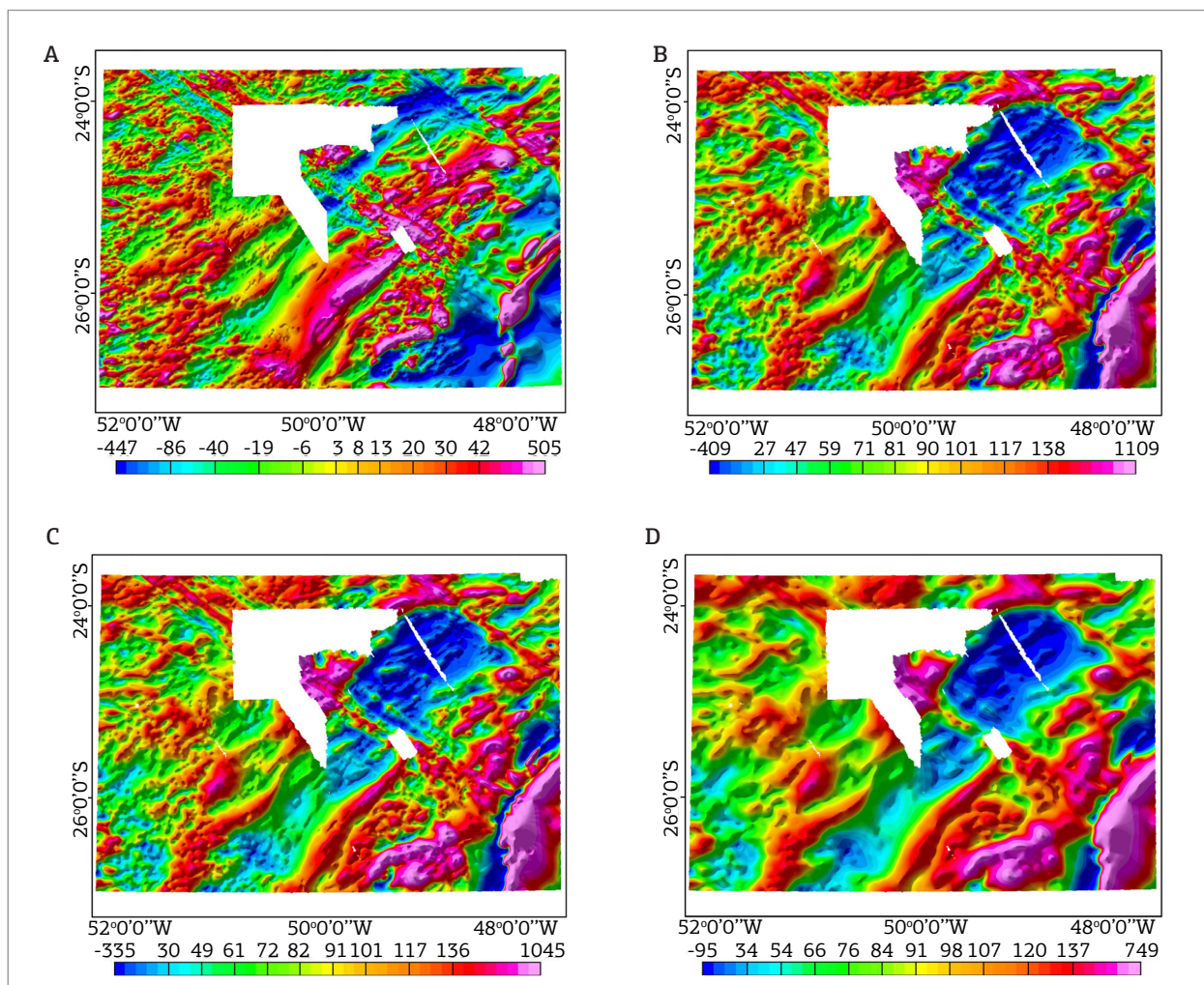


Figura 3. (A) Mapa do campo magnético anômalo (CMA) continuado para cima (1.500 m), (B) mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP UW 1.500 m), (C) mapa do campo magnético anômalo RTP continuado para cima a 2.000 m (CMA-RTP UW 2.000 m), (D) mapa do campo magnético anômalo RTP continuado para cima a 5.000 m (CMA-RTP UW 5.000 m).

(Verduzco *et al.* 2004) e Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT) (Ferreira *et al.* 2010, 2013). A Figura 4 mostra os principais métodos de realce, suas relações geométricas e respectivas equações.

Análise semiquantitativa

Tendo em vista a estimativa de profundidades das fontes anômalas e a relação de sua distribuição com a interpretação qualitativa, foi aplicada a deconvolução de Euler (Thompson 1982, Reid *et al.* 1990). As soluções de maior correspondência com a interpretação qualitativa foram obtidas com índice estrutural igual a 0 (contato), tolerância máxima de profundidade igual a 3% e tamanho da janela igual a 10, equivalente a 5.000 m.

No intuito de decompor o sinal magnético em níveis de profundidade distintos, foi realizada a análise do espectro de potência radial dos dados magnéticos. A observação do espectro possibilitou a separação do sinal nos seguintes intervalos:

- Fontes profundas – comprimentos de onda maiores que 32 km e profundidades entre 9 e 20 km.
- Fontes intermediárias – comprimentos de onda entre 16 e 32 km, com profundidades entre 7,4 e 9,2 km.
- Fontes rasas – comprimentos de onda entre 5,7 e 16 km e profundidades médias de 2,2 km.

Com base nesses valores, foram aplicados filtros de corte de frequência, resultando no mapa de fontes profundas.

Análise quantitativa

A modelagem dos dados gravimétricos foi realizada com base em Talwani *et al.* (1959) e Talwani e Heirtzler (1964), utilizando o algoritmo descrito por Won e Beavis (1987). Os valores de densidade utilizados foram obtidos dos trabalhos de Rosales (2004) e de Telford *et al.* (1990).

A construção dos modelos gravimétrico-estruturais foi realizada com base na integração dos resultados das análises qualitativa e semiquantitativa, balizada pela distribuição das principais feições geológicas da área de estudo.

Tabela 2. Dados de produção das transecas levantadas.

Transectas	Extensão (km)	Estações
A	215	100
B	313	149
C	425	135
Total	953	384

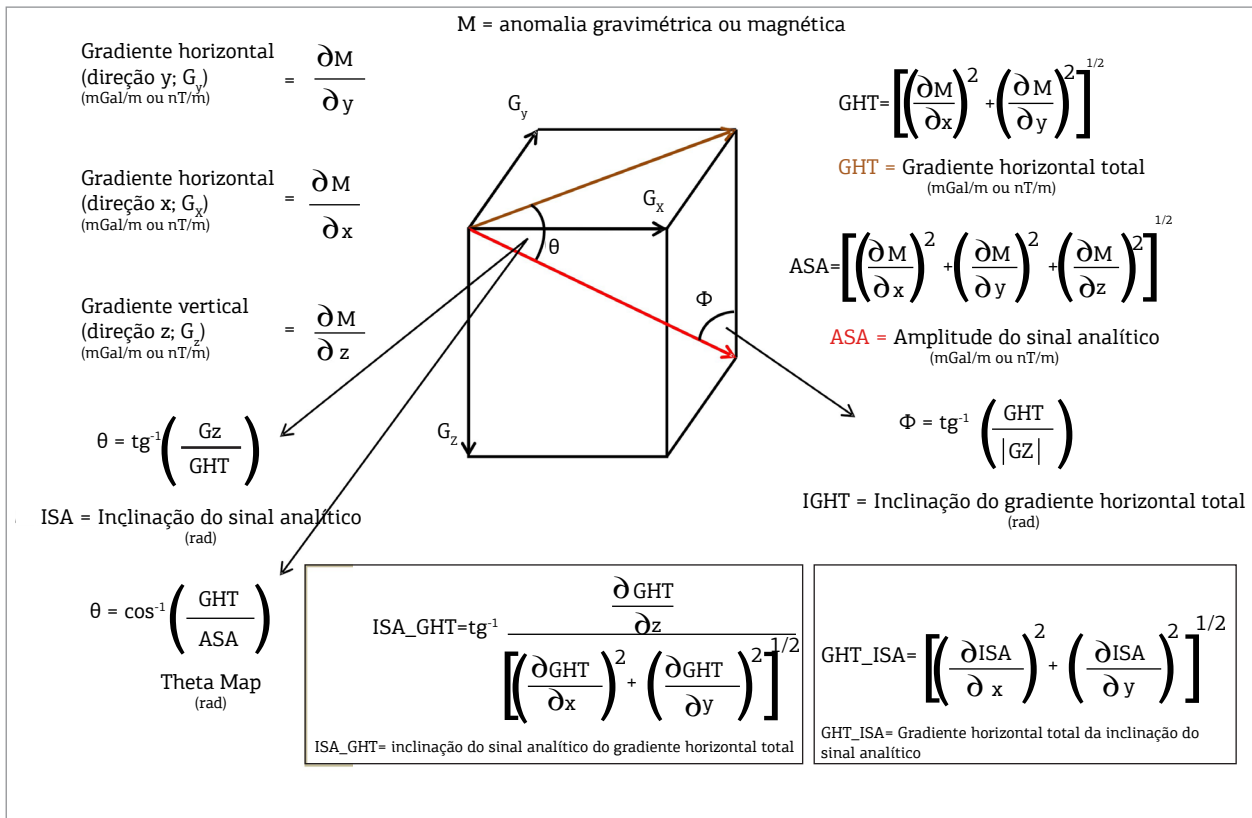


Figura 4. Principais métodos de realce de anomalias magnéticas e gravimétricas.

RESULTADOS

Arcabouço magnético-estrutural

Os mapas resultantes da aplicação dos métodos de realce (Fig. 4) destacaram as estruturas regionais (Fig. 5), objeto deste estudo. Sua interpretação possibilitou o traçado do arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, exibidos sobre o ISA-GHT na Figura 7.

Os resultados indicam o prolongamento das estruturas do Cinturão Ribeira, sob a Bacia do Paraná, sugerindo sua convergência em subsuperfície num padrão sigmoidal (Fig. 6).

As zonas de cisalhamento Lancinha (Fig. 6A, b) — limite dos terrenos tectônicos Apiaí (Fig. 6A, A) e Curitiba (Fig. 6A, B) —, Alexandra (Fig. 6A, c) —limite entre os terrenos Luis Alves (Fig. 6A, C) e Paranaguá (Fig. 6A, D) —, e Itapirapuá (Fig. 6A, a) exibem uma resposta magnética correspondente com seu traçado em superfície.

O Lineamento Alto Iguaçu (Fig. 6A,1), sem relação com feições superficiais, mostra, além da alta amplitude e paralelismo com o *trend* NE-SW, continuidade sob a Bacia do Paraná.

Os lineamentos apresentados por Zalán *et al.* (1987) correspondem, ainda que parcialmente, ao arcabouço magnético-estrutural interpretado, como se nota com as seguintes feições (Fig. 6B): Zona de Falha Lancinha-Cubatão (1), Zona de Falha Taxaquara (2), Falha de Jacutinga (3), Lineamento São Sebastião (4), Falha de São Jerônimo-Curiúva (5), Zona de Falha Curitiba-Maringá (6), Arco de Ponta Grossa (7) e Falha do Rio Alonzo (8). As soluções de Euler corroboram a interpretação qualitativa, apontando profundidades de fontes magnéticas superiores a 2.000 m para a Zona de Falha de Taxaquara, tanto no embasamento exposto como sob a Bacia do Paraná. A interpretação da convergência das zonas de cisalhamento Lancinha e Itapirapuá (ZCI) também foi validada pelas soluções de Euler, que, igualmente,

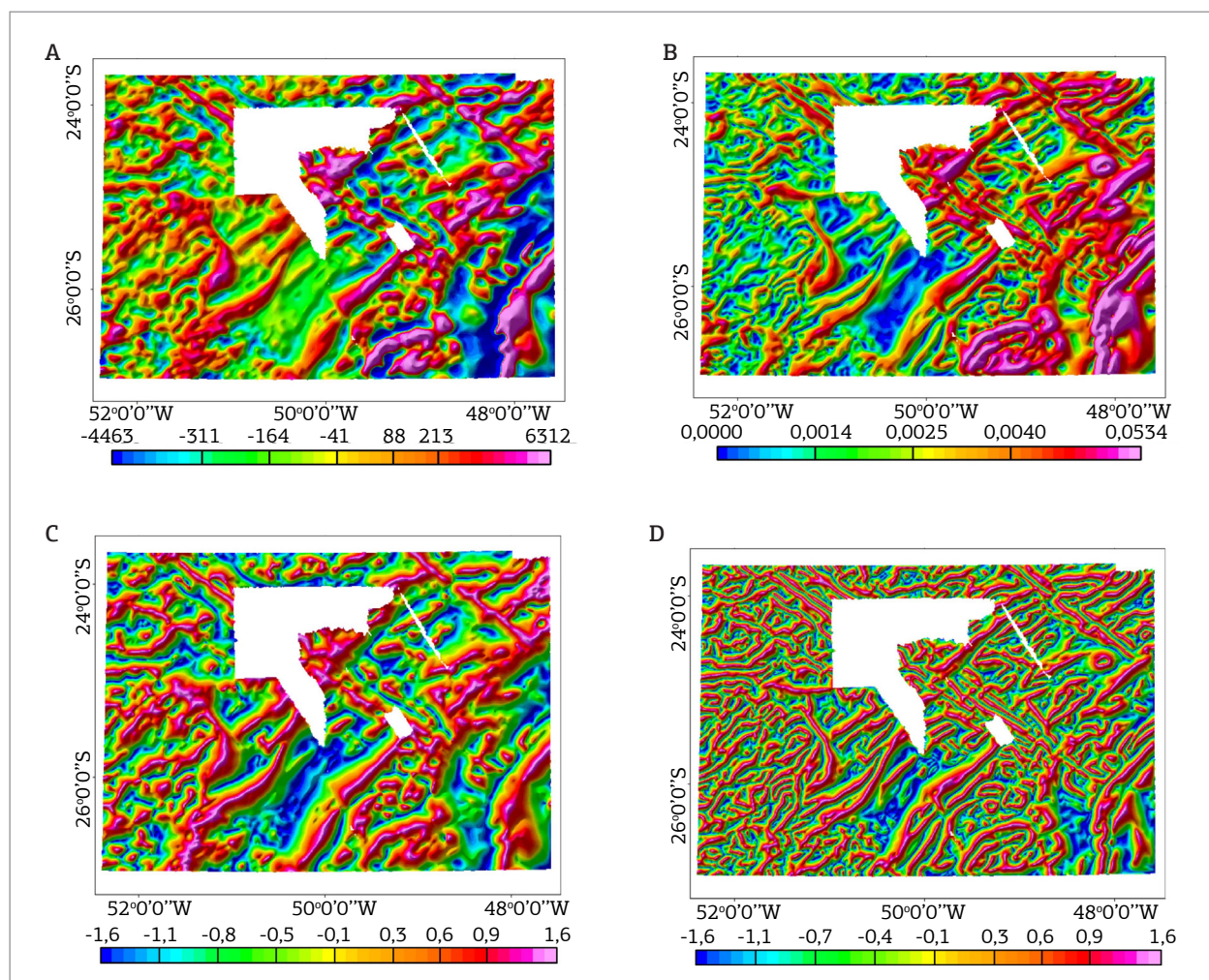


Figura 5. Mapas de realce de anomalias magnéticas calculados sobre o CMA-RTP UW 5.000 m: (A) Gradiente vertical (GZ, nT/m), (B) Gradiente horizontal total (GHT, nT/m), (C) Inclinação do sinal analítico (ISA, rad) e (D) Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT, rad).

indicaram profundidades maiores que 2.000 m para ambas as estruturas. Para o Lineamento Alto Iguazu (Fig. 6D, 3), foram estimadas profundidades de fontes maiores que 2.000 m, tanto na área da bacia como no embasamento adjacente.

As anomalias do mapa magnético de fontes profundas (Fig. 6D) mostram correspondência tanto com os lineamentos de Zalán *et al.* (1987) como com feições mapeadas em superfície. A anomalia 1 corresponde ao Complexo Batolítico Cunhaporanga, cuja proximidade com a Zona de Falha de Taxaquara (ZFT) sugere uma relação em profundidade. A anomalia 2 reflete o prolongamento da ZCL sob a bacia e a convergência com a ZCI em subsuperfície. As anomalias

assinadas com o número 3 indicam o prolongamento do Lineamento Alto Iguazu e da ZCP sob a bacia. O Complexo Granulítico Luis Alves, o Lineamento do Rio Alonzo e o Complexo Alcalino de Jacupiranga se vinculam, respectivamente, às anomalias 4, 5 e 6.

Modelos gravimétricos

Visando decompor o sinal gravimétrico em sinais de profundidades distintas, foi aplicada a separação regional-residual pela análise do espectro 1-D. A partir da média dos comprimentos de onda, foram estabelecidos os seguintes valores de corte para as filtragens: acima de 37.144 m para

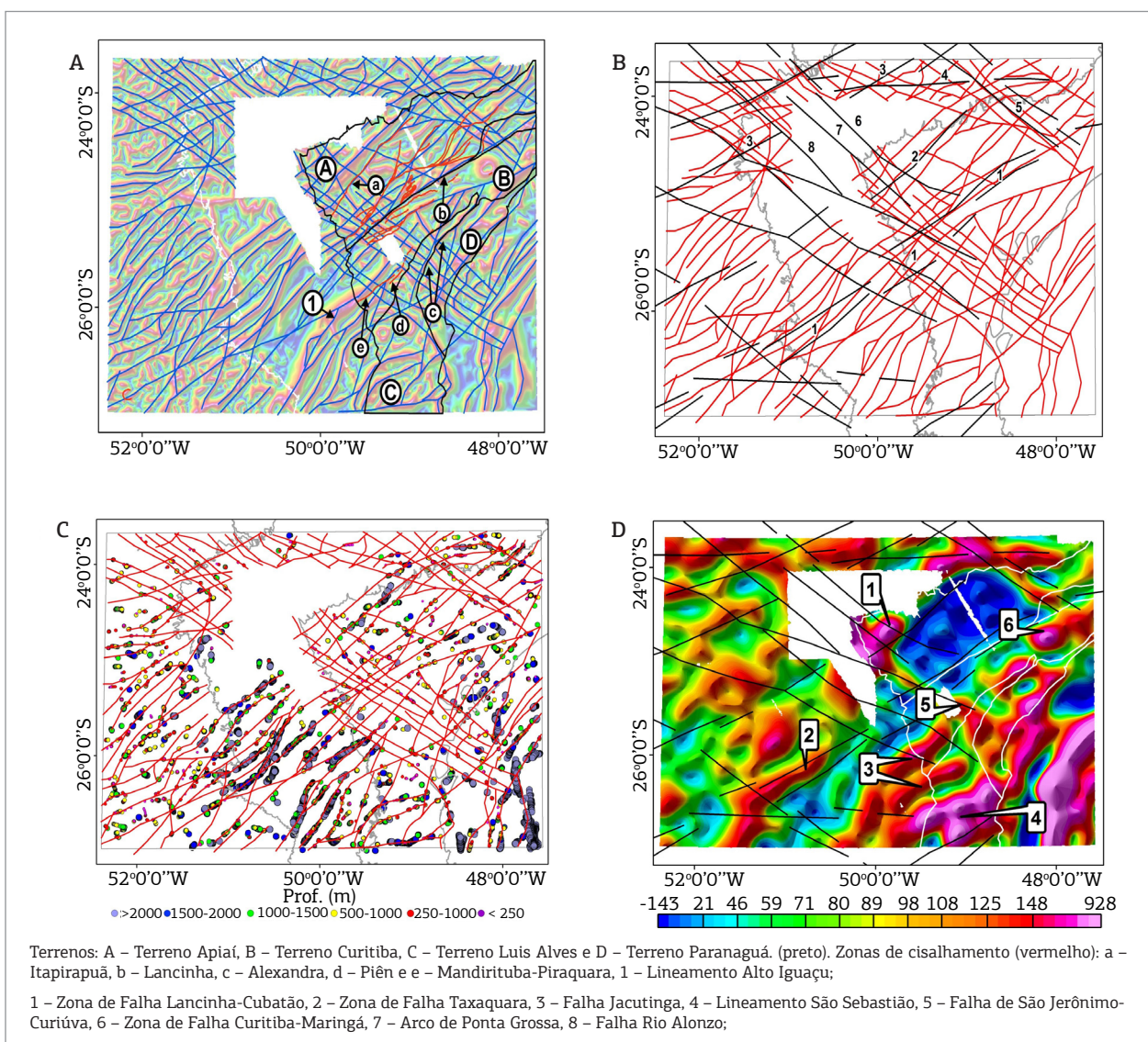


Figura 6. Mapas de interpretação: (A) ISA-GHT com a interpretação do arcabouço magnético estrutural (linhas azuis). (B) Arcabouço magnético-estrutural (vermelho) sobreposto ao contorno do pré-cambriano e Fm. Serra Geral (cinza) e lineamentos de Zalán *et al.* (1987) (preto). (C) Arcabouço magnético estrutural (vermelho) sobrepostas as soluções de Euler, contorno do pré-cambriano e Fm. Serra Geral (cinza); (D) Mapa magnético de fontes profundas, entre 9 e 20 km, com indicação dos lineamentos de Zalán *et al.* (1987).

as fontes profundas, entre 37.144 e 3.763 m para as fontes intermediárias, e menores que 3.763 m para as fontes rasas.

Assim, foram elaborados dois modelos para cada transecta, um com base no sinal de fontes profundas (regional), e outro (residual) envolvendo as unidades aflorantes e seu embasamento (fontes intermediárias?). Os resultados das análises qualitativa e semiquantitativa foram incorporados aos modelos como informações *a priori*.

Nos modelos regionais, as propriedades físicas e profundidade das camadas crustais foram baseadas em Bassini (1986) e Rosales (2004), os quais indicam para a crosta continental superior uma espessura de 11 km, com densidade de 2,84 g/cm³. A crosta continental inferior foi dividida em duas camadas: uma superior, entre 11 e 24 km de profundidade, com densidade de 2,98 g/cm³; e outra inferior, entre 24 e 39 km de profundidade, com densidade de 3,09 g/cm³. A interface crosta/manto foi posicionada a 39 km de profundidade, com densidade do manto estimada em 3,39 g/cm³.

Transecta A

A anomalia regional da Transecta A, realizada sobre as rochas paleozoicas da Bacia do Paraná, mostra uma alternância de altos e baixos gravimétricos, reflexo da variação de espessura crustal. A porção central concentra as menores amplitudes, enquanto os máximos são observados nas extremidades NW e SE (Fig. 7). As quebras de gradiente que limitam as anomalias correspondem às estruturas regionais apresentadas por Zalán *et al.* (1987).

O perfil inicia à NW com uma espessura crustal de 38,5 km, com a primeira quebra de gradiente localizada entre a Falha do Rio Alonzo (FRA) e a ZFT (Zalán *et al.* 1987) relacionada a um aumento da espessura crustal (41,0 km) em direção ao centro do perfil. Essa feição corresponde a um baixo gravimétrico relativo, limitado pela ZFT e o prolongamento da ZCI.

Entre os prolongamentos da ZCI e da ZCL, se observa a porção de menor espessura crustal do perfil (38 km),

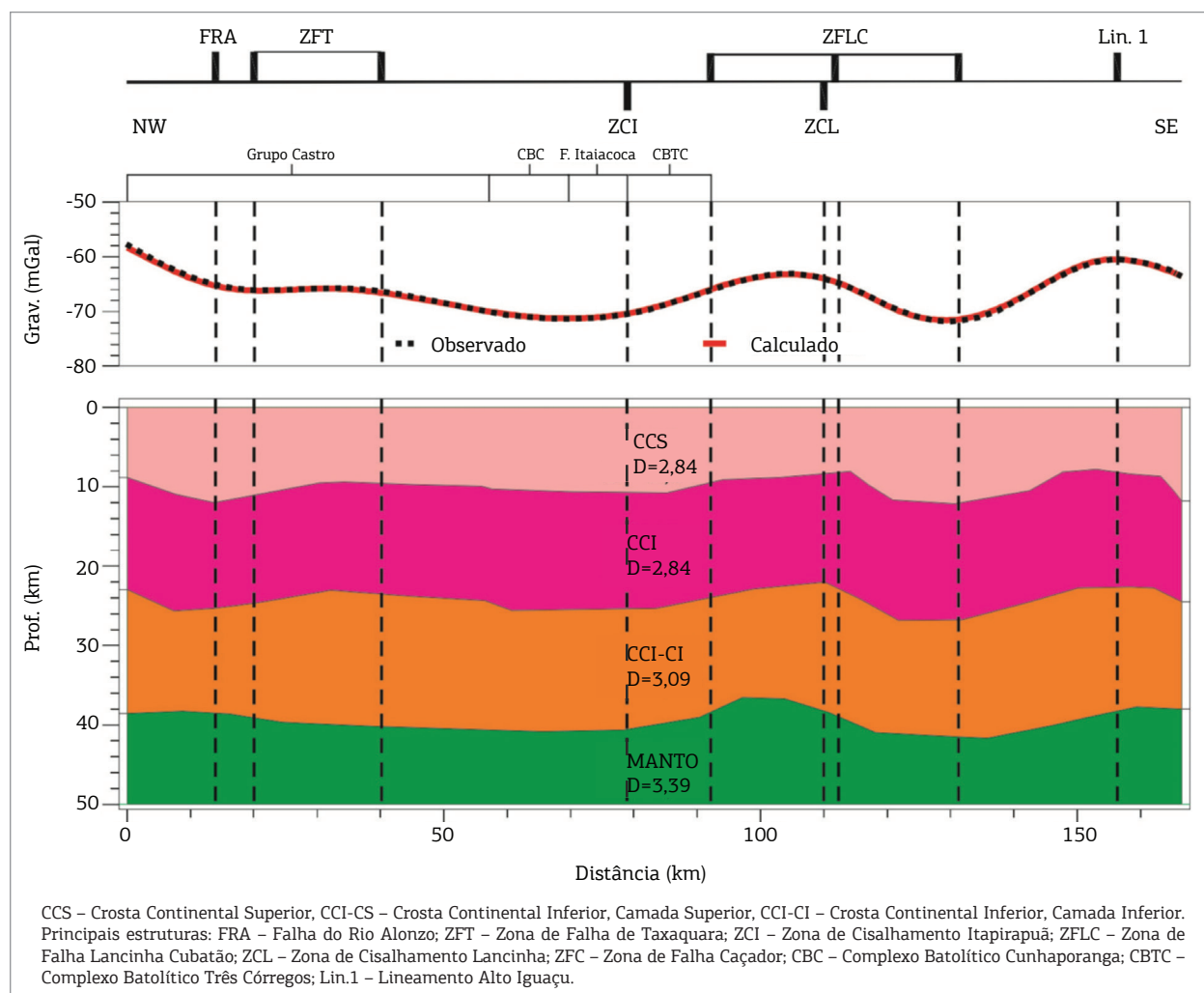


Figura 7. Anomalia gravimétrica regional da transecta A (painel superior) e o modelo correspondente (painel inferior).

correspondente a um alto gravimétrico relativo. À sudeste do prolongamento da ZCL, se verifica a maior espessura crustal da transecta, cerca de 42 km, correspondente a um baixo gravimétrico (-71,5 mGal). No extremo sudeste, é observado um alto relativo (-60,5 mGal) relacionado à diminuição da espessura crustal (37,9 km), correspondente ao Lineamento Alto Iguaçu (Fig. 6A,1).

A anomalia residual (Fig. 8) inicia com uma alternância de altos e baixos entre de 1,6 e -3,2 mGal, possivelmente relacionada a variações de espessura do Grupo Castro (indiviso), em profundidade. Em direção a SE, um alto gravimétrico (2,2 mGal) pode ser relacionado a um alto do embasamento (Fig.10).

A porção central do perfil mostra uma série de três baixos gravimétricos relativos (-4,5; -2,4 e -5,2 mGal) intercalados

a dois altos (3,8 e 2,0 mGal). Essa assinatura, recorrente nos perfis “B” e “C” (Fig. 4), corresponde à resposta gravimétrica do prolongamento de unidades do embasamento adjacente sob a bacia. Os baixos gravimétricos corresponderiam aos complexos batolíticos Cunhaporanga (CBC) e Três Córregos (CBTC) e o Granito Passa Três (GPT), intercalados pelas rochas da Faixa Itaiacoca e rochas básicas associadas. Um alto do embasamento sobre o qual se prolonga a Formação Água Clara se reflete por um alto gravimétrico. O alto gravimétrico à sudeste do GPT foi relacionado a um alto do embasamento, seguido de um baixo subsequente correspondente, possivelmente, ao prolongamento da Sequência Votuverava, sob a bacia.

O segmento sudeste é marcado pela ZCL, limite entre os terrenos Apiaí e Curitiba, cuja resposta é um alto relativo

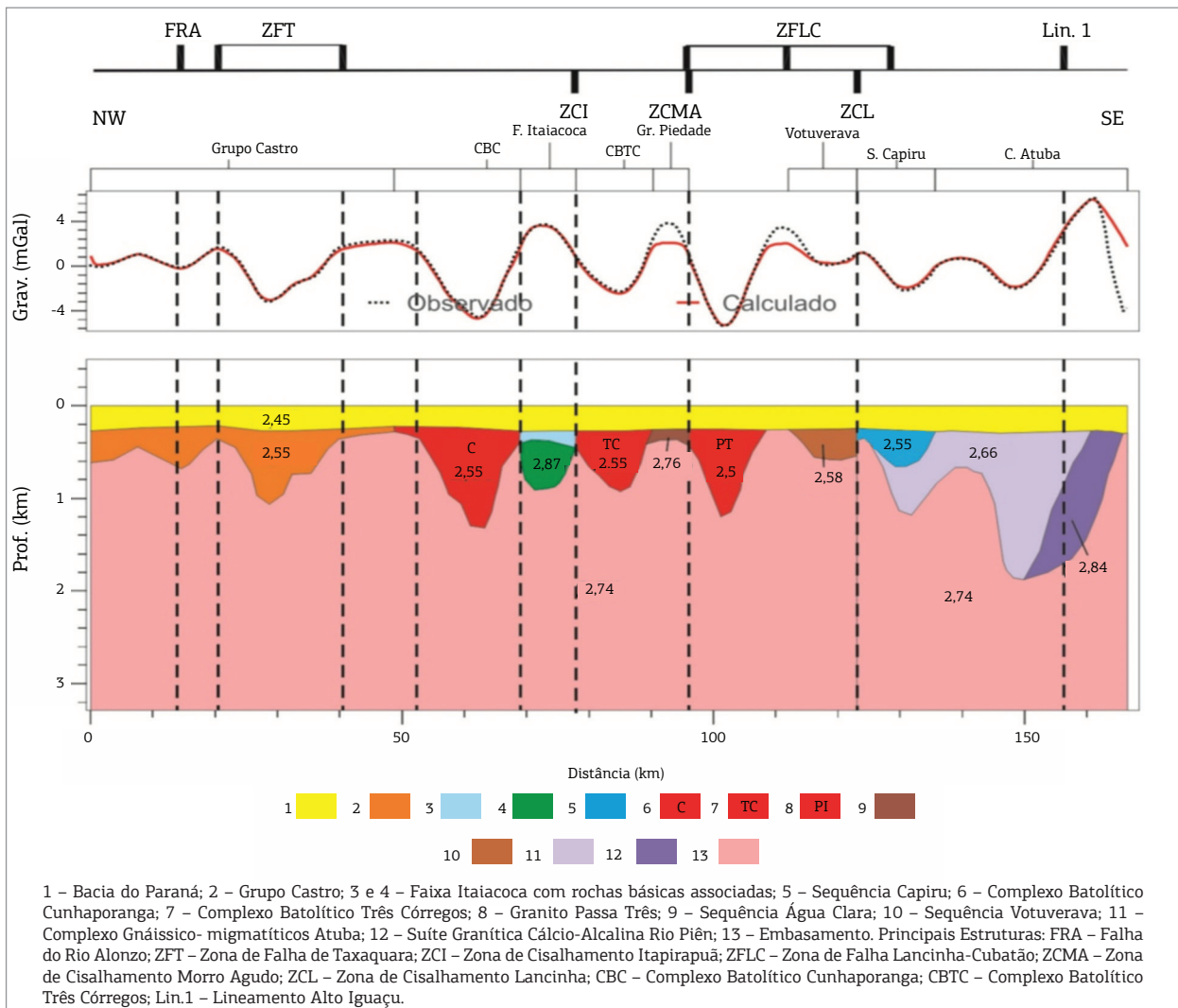


Figura 8. Anomalia gravimétrica residual da transecta A (painel superior) e modelo correspondente (painel inferior).

discreto. A ocorrência de dois baixos gravimétricos relativos (-2 mGal) intercalados por um alto (0,7 mGal) caracterizaria a variação de espessura do Complexo Atuba. O extremo sudeste do perfil exhibe a anomalia de maior amplitude, cerca de 6,2 mGal, relacionada ao Lineamento Alto Iguaçu (Fig. 6A,1).

Transecta B

O modelo regional da Figura 10 inicia a NW com um baixo gravimétrico relacionado à espessura crustal de cerca de 38 km. À sudeste a espessura diminui, chegando a 35 km, refletindo num alto gravimétrico expressivo (41,5 mGal), no domínio do Terreno Apiaí (Fig. 9).

À sudeste da Falha de Castro (FC), observa-se um baixo gravimétrico (-54 mGal) relacionado a um espessamento da crosta (37 km). O segmento central mostra um alto gravimétrico relativo (-49,2 mGal) vinculado a uma zona de afinamento crustal (34 km) limitada pela ZFT e associada à ZCI.

O baixo gravimétrico subsequente (-63,3 mGal) é limitado à NW pela ZCI e à SE pela Zona de Cisalhamento Morro Agudo (ZCMA), e reflete uma região de espessamento crustal da ordem de 38,7 km.

O segmento sudeste do perfil é marcado por um alto gravimétrico (-47 mGal), limitado pela ZCMA e a Falha do Passaúna (FP), seguido por um baixo (-53,5 mGal), balizado à SE pela Zona de Cisalhamento Mandirituba-Piraquara (ZCMP). Essas feições são associadas, respectivamente, a uma zona de afinamento (34,5 km), seguida de um espessamento crustal (37 km).

Um alto expressivo no extremo sudeste do perfil (-42,12 mGal), relacionado a uma espessura crustal de 35 km, guarda correspondência com a ZCP, limite entre os terrenos Apiaí e Luís Alves.

A anomalia residual da Figura 10 mostra a distinção do sinal no domínio da Bacia do Paraná, com amplitudes menores (0,8 a -1,8 mGal), e o domínio do Cinturão Ribeira,

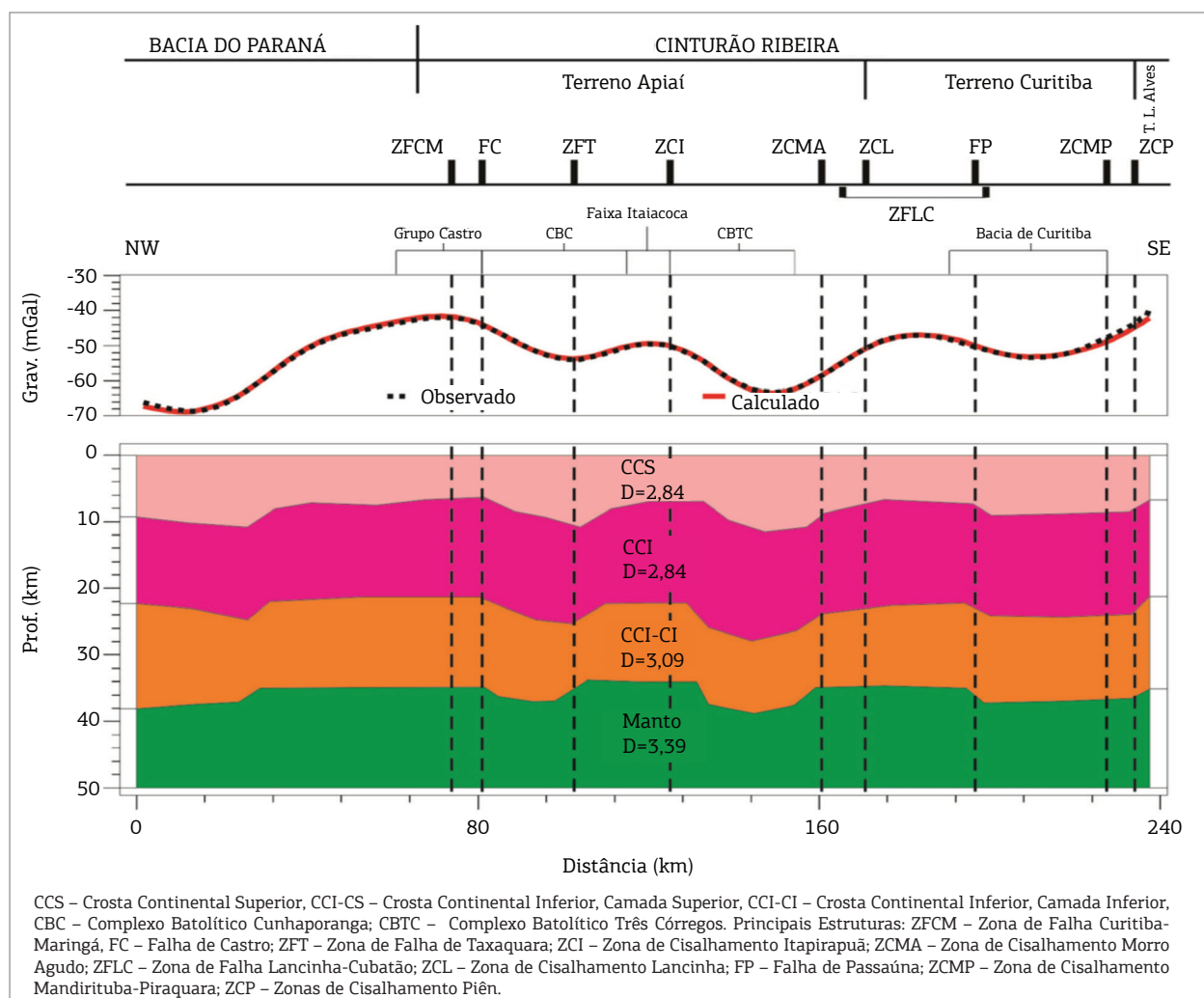


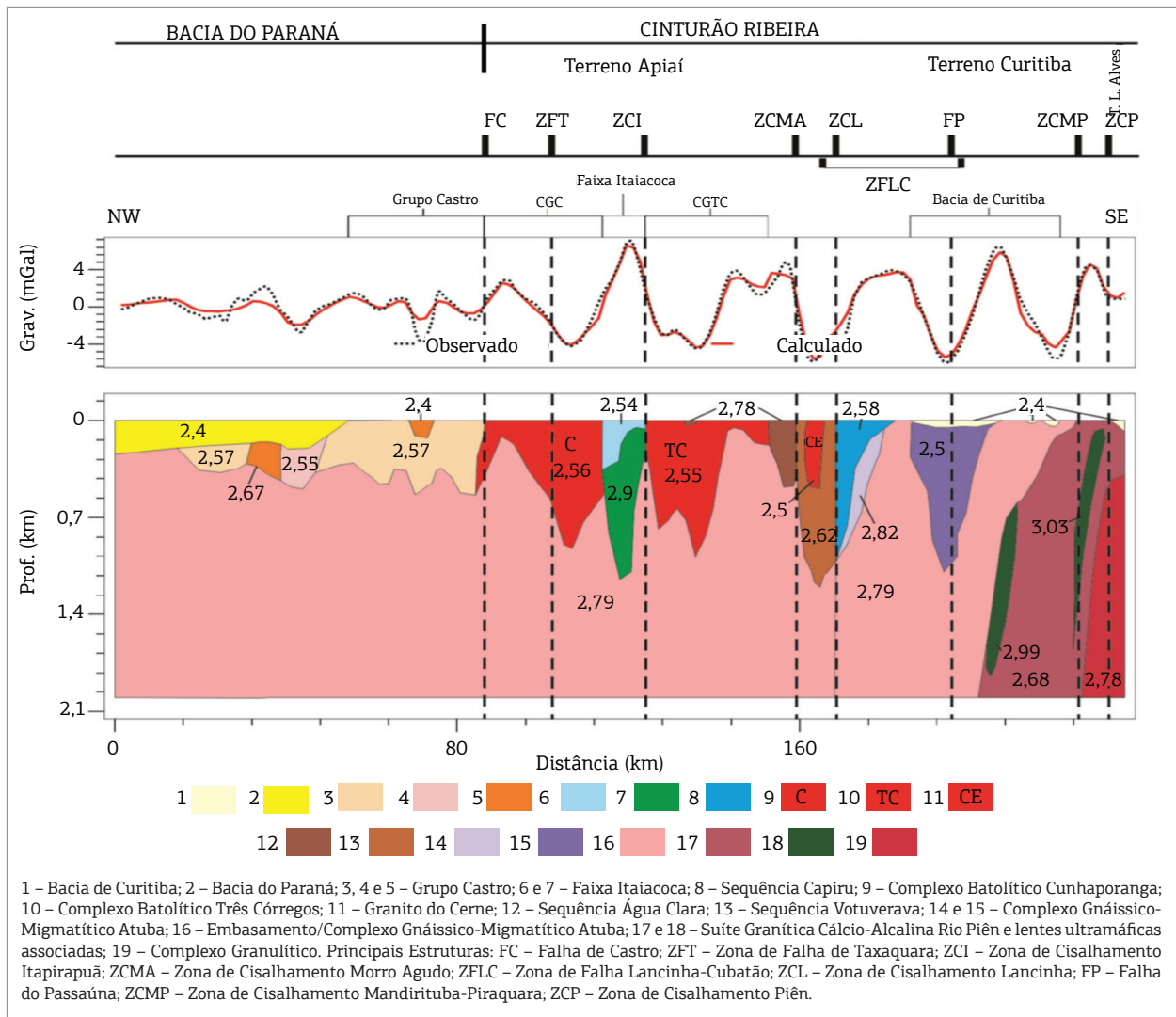
Figura 9. Anomalia gravimétrica regional de transecta B (painel superior) e o modelo correspondente (painel inferior).

onde as amplitudes são mais altas, variando de -5,6 a 7,4 mGal. A variação no segmento NW do perfil é atribuída à variação de composição e espessura do Grupo Castro, tanto sob a bacia como em sua porção aflorante.

A porção central do perfil é marcada por dois baixos gravimétricos intercalados a um alto, padrão semelhante ao observado nas transecta “B” e “D”. Tal variação é relacionada à intercalação da Faixa Itaiacoca (FI), associada a rochas básicas, correspondente ao alto, com os complexos batolíticos Cunhaporanga (CBC) e Três Córregos (CBTC), relacionados aos baixos gravimétricos. O contato da Faixa Itaiacoca com o CBTC, dado em superfície pela ZCI, é marcado pela quebra do gradiente no sinal gravimétrico. O alto consecutivo é associado à variação das relações de contato do CBTC e Sequência Água Clara com o embasamento.

À SE da ZCMA, um baixo gravimétrico limitado à SE pela ZCL é a resposta conjunta da Sequência Votuverava e do Granito do Cerne. O alto subsequente (3,6 mGal) foi relacionado à associação da Sequência Capiru com o Complexo Atuba, sucedido por um baixo gravimétrico (-5,3 mGal) na região da Bacia de Curitiba, refletindo, talvez, uma variação composicional do Complexo Atuba, coincidente com o prolongamento da Falha do Passaúna (FP).

A porção SE do perfil exibe um baixo gravimétrico ladeado por dois altos, atribuídos, respectivamente, à Suíte Granítica Cálcio-alcalina Rio-Piên e suas associações com lentes ultramáficas em subsuperfície. As zonas de cisalhamento Mandirituba-Piraquara (ZCMP) e ZCP constituem os limites dessa unidade, e a última separa os terrenos Curitiba e Luís Alves.



Transecta C

A anomalia regional da transecta C revela três patamares com aumento de amplitude de NW para SE, relacionados a um afinamento crustal, com variações de espessura balizadas pelas zonas de cisalhamento (Fig. 11).

O primeiro patamar mostra uma variação de espessura crustal entre 39,8 e 35,8 km, separada do segundo segmento pela ZCI. Neste último, dois altos relativos intercalados por um baixo estão associados, respectivamente, a porções mais delgadas da crosta (36,7 e 34,3 km) e a uma porção de maior espessura (37,7 km) limitada à SE pela ZCMA.

O terceiro segmento, limitado pela ZCL, mostra o maior gradiente do perfil, com uma variação de 81 mGal (-46 a 35 mGal) em cerca de 30 km de extensão. Essa resposta reflete a variação de espessura crustal, de 42 km, entre a ZCL e ZCMP, para 22,6 km, nas proximidades da ZCP. No Terreno Luís Alves, limitado à NW pela ZCP, a espessura volta a aumentar, variando de 25,0 a 30,5 km.

A anomalia residual da transecta C mostra dois segmentos limitados pela ZCL, onde, à NW, a amplitude do sinal varia entre -4,6 e 6,2 mGal com grande comprimento de onda, e, à SE, oscila de -26,5 a 23,9 mGal, com uma frequência maior (Fig. 12).

O primeiro segmento, à NW, mostra um alto gravimétrico relativo relacionado à Bacia do Paraná, resposta do prolongamento do Grupo Castro em subsuperfície. As anomalias subsequentes mostram dois baixos gravimétricos intercalados a um alto relativo (3 mGal) correspondentes ao Complexo Batolítico Cunhaporanga (CBC).

A resposta da borda SE do CBC, seguida pela Faixa Itaiacoca (FI) e o Complexo Batolítico Três Córregos, reproduz a assinatura observada nas transectas "A" e "B", discutida anteriormente. O contato da FI com o CBTC é marcado por um baixo relativo.

A ZCMA, à sudeste do CBTC, mostra um pico positivo relacionado a um alto do embasamento sob a Sequência

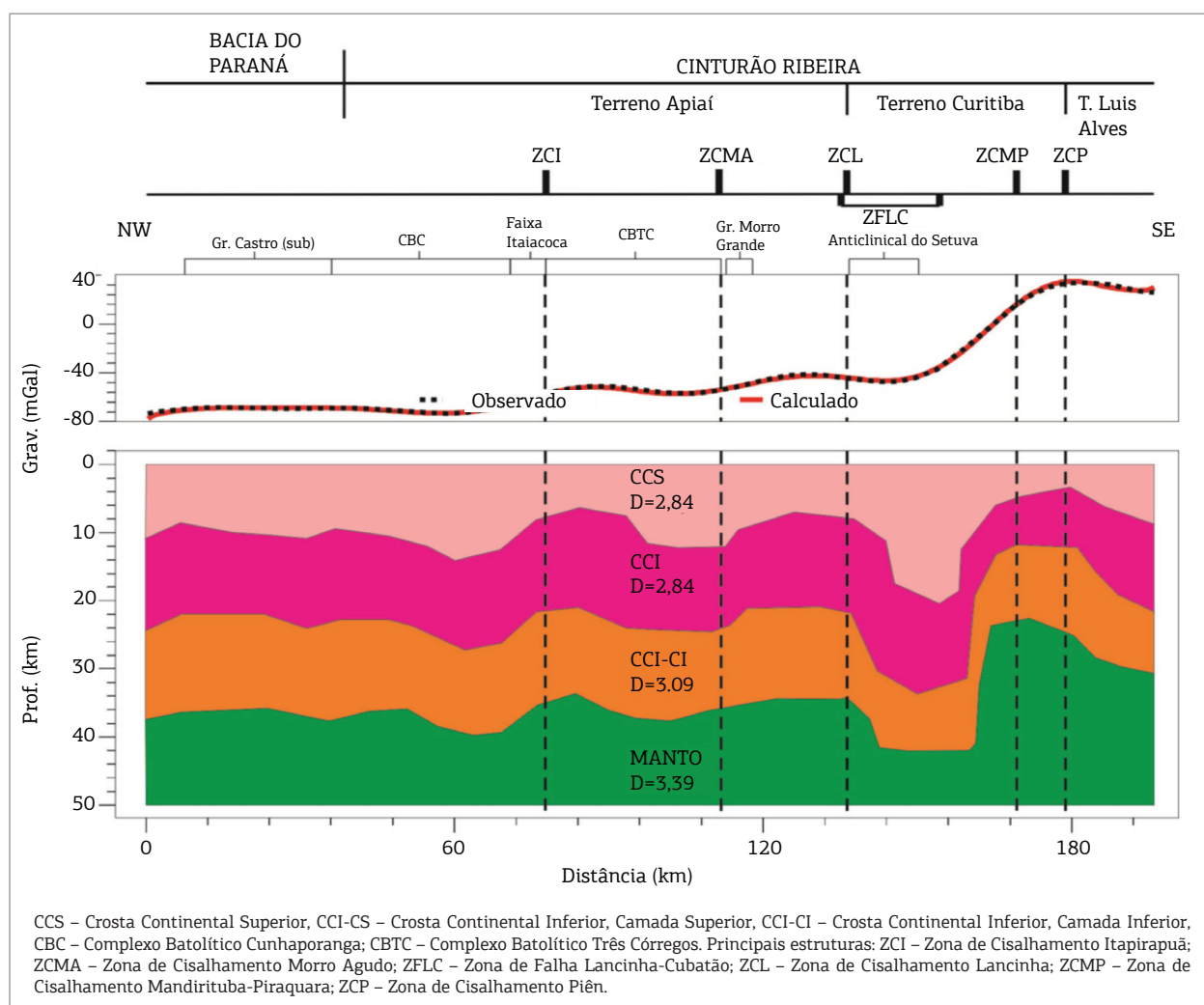


Figura 11. Anomalia gravimétrica regional de transecta C (painel superior) e o modelo correspondente.

Água Clara. O baixo subsequente, relacionado à resposta da Sequência Votuverava e do Granito Morro Grande, é limitado à NW pela ZCMA e à SE pela ZCL.

O segmento à SE da ZCL exhibe dois altos gravimétricos intercalados por um baixo, associados às variações de espessura da Sequência Capiru e de composição do Complexo Atuba (CA). O baixo gravimétrico ulterior (-21,3 mGal) foi relacionado a possíveis variações composicionais do Complexo Atuba nas proximidades da Bacia de Curitiba. Um alto gravimétrico associado ao prolongamento da Suíte Rio Piên e lentes ultramáficas associadas sob o Terreno Curitiba à NW marca a borda SE deste último. O baixo relativo subsequente (-7 mGal) foi relacionado ao Granito Graciosa associado à Suíte Rio Piên, limitada à SE pela ZCP, limite com o Terreno Luís Alves, cuja resposta mostra um alto gravimétrico no extremo SE.

DISCUSSÃO

Além do afinamento crustal de NW para SE, observado em outros trabalhos (Rosales 2004), os modelos gravimétricos corroboram a proposta de sobreposição do Terreno Curitiba ao Terreno Luís Alves (Mantovani *et al.* 1989).

A distribuição das unidades e a configuração das camadas crustais se mostram compatíveis com o modelo de Basei *et al.* (1992), que interpretam o quadro tectônico atual como resultado da colagem dos Terrenos Luís Alves e Curitiba na margem oeste do Gondwana, entre o Neoproterozoico e o Cambriano, numa subducção do tipo A. Nesse contexto, a ZCL representaria uma sutura, mergulhando para NW sob o Terreno Apiaí (Basei *et al.* 1998). O adelgaçamento da crosta de NW para SE em direção ao Terreno Luís Alves

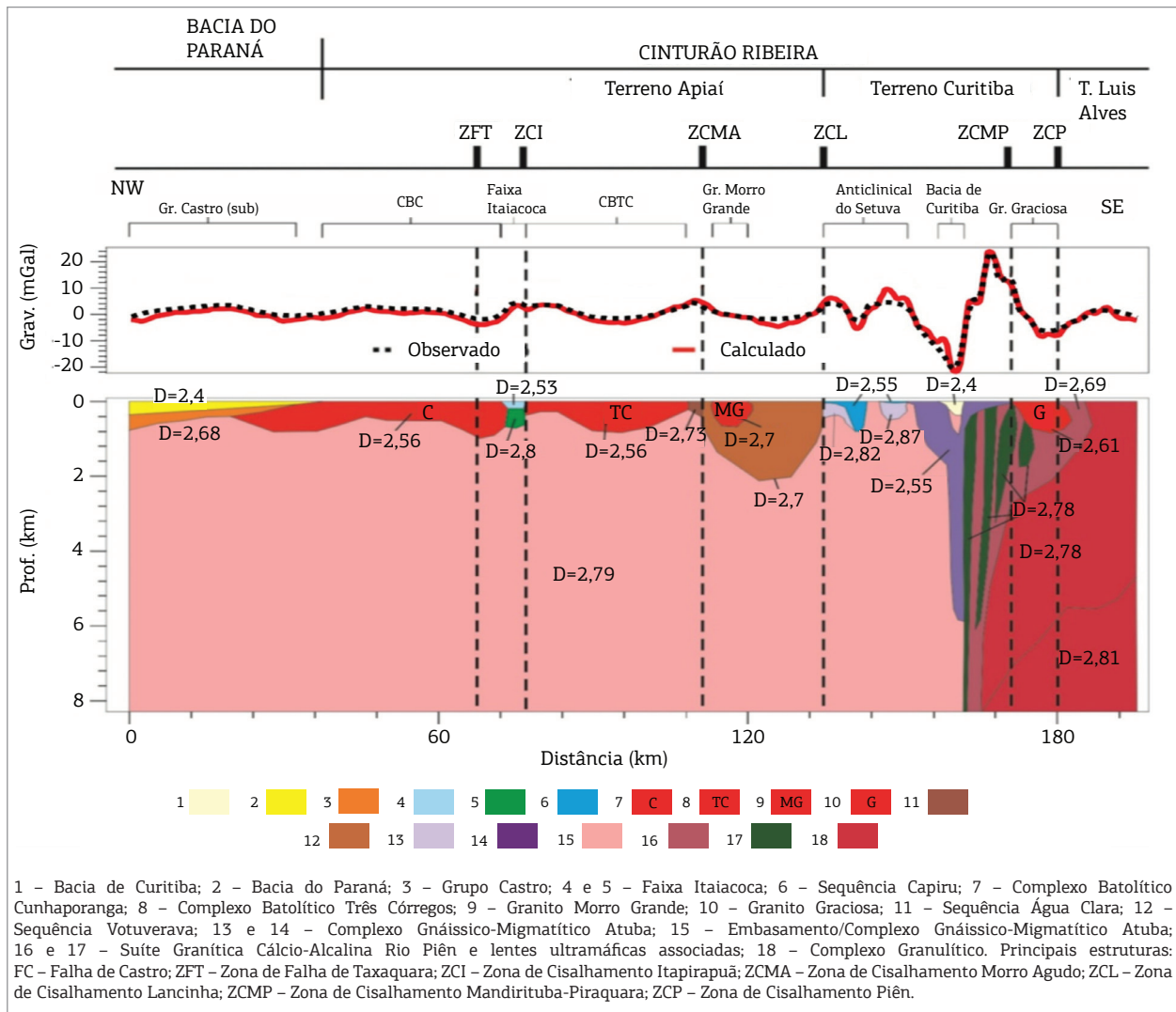


Figura 12. Anomalia gravimétrica residual da transecta C (painel superior) e modelo correspondente.

apresentado pelos autores (Fig. 13) se harmoniza aos modelos apresentados.

No Terreno Apiaí, a variação da espessura crustal é marcada pela ZCI em associação com a Faixa Itaiacoca e a ZCMA. A assinatura geofísica (magnética e gravimétrica) relacionada à ZCI, observada nos modelos, permite sua interpretação como uma descontinuidade crustal. Basei *et al.* (1998) relacionam essa estrutura com o limite da borda leste do Cráton Paranapanema sob o Terreno Apiaí.

Os modelos sugerem que a ZCL, limite entre os terrenos Apiaí e Curitiba, configura um dos marcos de variação de espessura crustal, com mergulho vertical ou subvertical para NW. Na proposta apresentada por Basei *et al.* (1998), a ZCL exhibe mergulhos relativamente mais baixos para NW, sob o Terreno Apiaí, destoando dos modelos gravimétricos apresentados.

Faleiros (2008) apresenta a ZCL como uma estrutura gerada pela reativação de uma antiga zona de sutura, não correspondendo atualmente a uma sutura característica. A ausência da assinatura geofísica correspondente seria explicada pela progressão da transcorrência e a consequente alteração de sua resposta (Castro *et al.* 2014). Assim, a ZCL seria o testemunho de uma colisão neoproterozoica, modificada pela progressão do cisalhamento, configurando atualmente o limite entre os terrenos Curitiba e Apiaí como uma zona de cisalhamento predominantemente dextral.

Dessa forma, o modelo de Basei *et al.* (1992, 1998), acrescido da proposta de Faleiros (2008) para a evolução da ZCL, seria compatível com os modelos apresentados. A Figura 14 sintetiza essa interpretação.

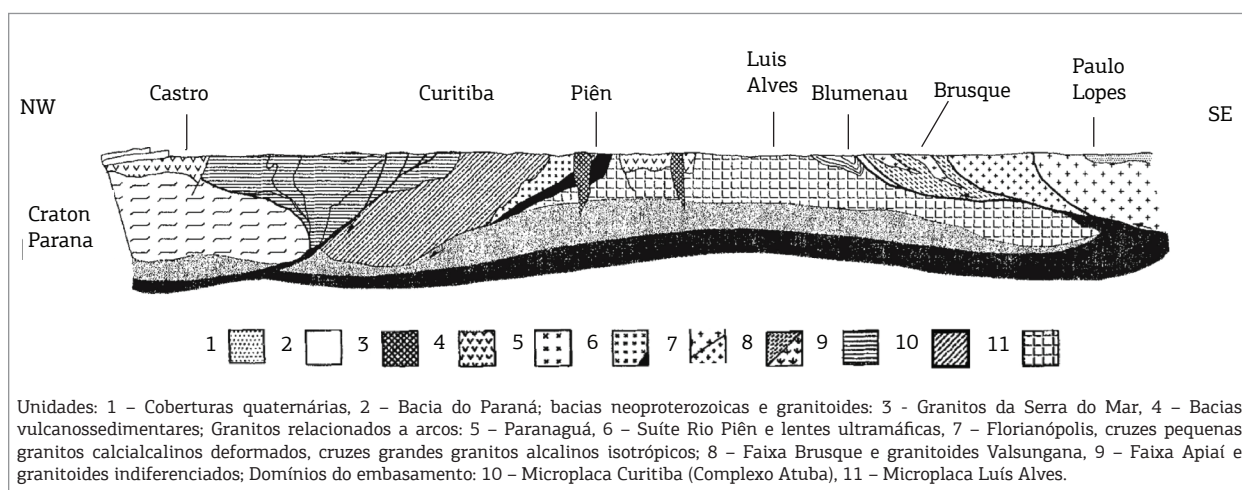


Figura 13. Perfil geológico esquemático dos terrenos pré-cambrianos do Sul do Brasil (modificado de Basei *et al.* 1998).

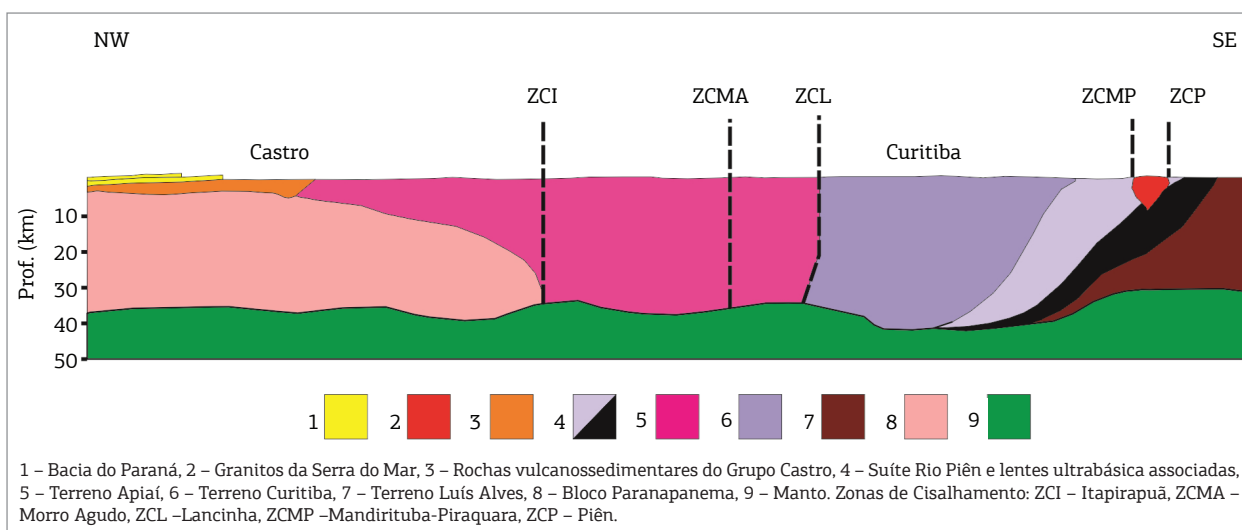


Figura 14. Perfil geológico esquemático da porção meridional do Cinturão Ribeira e regiões adjacentes modificado de Basei *et al.* (1998).

CONCLUSÕES

Os lineamentos do arcabouço-magnético estrutural, gerado com base nos mapas de realce, mostraram correspondência com as zonas de cisalhamento Itapirapuá, Morro Agudo, Lancinha, Alexandra e Serra Negra, além dos propostos por Zalán (*et al.* 1987). Revelaram também que estruturas como a Zona de Falha de Taxaquara e as zonas de cisalhamento Itapirapuá, Morro Agudo e Lancinha, aflorantes no embasamento, se propagam sob a Bacia do Paraná. O prolongamento dos lineamentos sugere uma conexão em subsuperfície entre a ZCI, ZCMA e ZCL, num padrão sigmoidal.

As soluções de Euler, além de atestarem a interpretação do arcabouço, estimaram profundidades maiores que 2.000 m para a Zona de Falha de Taxaquara e as zonas de cisalhamento Itapirapuá, Morro Agudo, Lancinha e Mandirituba-Piraquara.

A recorrência de assinaturas gravimétricas nos perfis indica o prolongamento de unidades aflorantes no embasamento, como os complexos batolíticos Cunhaporanga e Três Córregos, e a Faixa Itaiacoca sob a bacia.

Os modelos gravimétricos indicam um afinamento crustal de NW para SE, balizado pelas zonas de cisalhamento, limitando segmentos de espessura crustal distintas, sendo o primeiro definido da Bacia do Paraná até a ZCI, com

espessura crustal entre 33 e 38 km, e um segundo entre a ZCI e a ZCL, com variação de 34 a 38 km.

Um terceiro segmento, relacionado ao Terreno Curitiba, é limitado pela ZCL e a ZCP, com espessura crustal entre 24 e 43 km, e o quarto segmento seria relacionado ao Terreno Luís Alves, em sua porção subjacente à borda leste do Terreno Curitiba, com espessura crustal entre 30 e 34 km.

Os modelos indicam que a transição do Terreno Curitiba para o Terreno Luís Alves, marcada pela Suíte Rio Piên, associada em subsuperfície com lentes ultrabásicas, mergulha para NW sob a borda Leste do Terreno Curitiba. Os resultados corroboram a caracterização dessa estrutura como uma zona de sutura. O Lineamento Alto Iguazu parece estar associado a esse limite.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) o financiamento da pesquisa através do Projeto Falhas, Campos de Esforços e Fluxo de Fluidos. Agradecem também à CPRM (Serviço Geológico do Brasil) pelos dados aeromagnéticos. L.G. de Castro e F.J.F. Ferreira agradecem, respectivamente, a CAPES pela Bolsa de Doutorado e ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (processo n° 305810/2010-3).

REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M. 1980. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. 187 p. (IPT. Relatório, 14.091).
- Almeida F.F.M., Amaral G., Cordani U.G., Kawashita K. 1973. The Precambrian evolution of the South America cratonic margin south of the Amazon River. In: Nairn E.M., Stehli F.G. (eds.). *The Ocean basins and margins*. New York, Plenum, p. 411-446.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**(1/2):1-29.
- Basei M.A.S., Siga Jr. O., Machiavelli A., Mancini F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR - SC). *Revista Brasileira de Geociências*, **22**(2):216-221.
- Basei M.A.S., McCreath I., Siga Jr. O. 1998. The Santa Catarina Granulite Complex of Southern Brazil: a review. *Gondwana Research*, **1**(3-4):383-391.
- Basei M.A.S., Frimmel H.E., Nuttman A.P., Preciozzi F. 2008. West Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and comparison with coeval sequences from SW Africa. In: Pankhurst R.J., Trow R.A.J., Brito Neves B.B., De Witt. (eds.) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*, London, Geological Society, Special Publication, 294 p., p. 239-256.
- Bassini A.M. 1986. *Levantamentos sismográficos na região sudeste do Brasil*. MS Dissertation, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 162 p.
- Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. 2001. *Geologia, tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistemas de Informações Geográfica – SIG e Mapas. Escala 1:2.500.000*. Brasília, CPRM.
- Briggs I.C. 1974. Machine Contouring Using Minimum Curvature. *Geophysics*, **39**(1):39-48.
- Brito Neves B.B., Fuck R.A., Cordani U.C., Thomaz Filho A. 1984. Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basin of Brazil: A Case of Tectonic Heritage. *Journal of Geodynamics*, **1**:495-510.
- Campanha G.A.C. & Sadowski G.R. 1999. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). *Precambrian Research*, **98**:31-51.
- Campanha G.A.C. 2002. *O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira*. Tese de livre docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 105 p.
- Castro L.G., Ferreira F.J.F., Cury L.F., Soares P.C., Lopes A.P., Oliveira M.J. 2014. Caracterização geofísica da Zona de Cisalhamento Lancinha no Estado do Paraná, Sul do Brasil, Brasil. *Revista Geociências USP Série Científica*, **14**(4):3-18.
- Cordani U.G., Neves B.B.B., Fuck R.A., Porto R., Thomaz Filho A., Cunha F.M.B. 1984. *Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Rio de Janeiro, Petrobras, Série Ciência-Técnica-Petróleo, 15, 70 p.

- Cordell L. & Grauch J. S. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: SEG, 52nd Annual International Meeting, *Expanded Abstracts*, p. 246-247.
- Cooper G. R. J. & Cowan D. R. 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, **32**(10):1585-1591.
- Cury L.F. 2009. *Geologia do Terreno Paranaguá*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 202 p.
- Faleiros F.M. 2008. *Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SPPR)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 318 p.
- Ferreira F.J.F., Moraes R.A.V., Ferrari M.P., Vianna R.B. 1981. Contribuição ao estudo do Alinhamento Estrutural do Guapiara. In: Simpósio Regional de Geologia, SBG Curitiba, *Atas...*, p. 226-240.
- Ferreira F. J. F. 1982a. *Alinhamentos Estruturais* – Magnéticos da Região Centro Oriental da Bacia do Paraná – Reavaliação da Potencialidade e Prospectividade em Hidrocarbonetos. São Paulo: Consórcio CESP-IPT – Paulipetro, 23 p.
- Ferreira F. J. F. 1982b. *Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 186 p.
- Ferreira F.J.F., Galli V.L., Monma R. 1988. Modelo gravimétrico do perfil Itapeva-Barra do Turvo, região centro-oriental da Faixa Apiaí. In: Campanha G.A.C. (coord.) *Avaliação preliminar da geologia das folhas (1:50.000) de Taquaral, Mina do Espírito Santo, Ribeirão Itacolomi, Serra do Aboboral, Jacupiranga, Rio Guaraú e Rio Turvo, Vale do Ribeira, SP*. São Paulo, Convênio IPT/SICCT pró-minério, 4v. (Relatório IPT n° 26863)
- Ferreira F.J.F., Souza J., Bongioioli A.B.S., Castro L.G., Romeiro M.A.T. 2010. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos. In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, SBGF Brasília, *Anais*, p. 1-6.
- Ferreira F.J.F., Souza J., Bongioioli A.B.S., Castro L.G. 2013. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, **78**:J33-J41.
- Fiori A.P. 1990. *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 261 p.
- Fiori A.P. 1992. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui - PR. *Boletim IG-USP, Série Científica*, **23**:55-74.
- Heilbron M., Mohriak W., Valeriano C.M., Milani E., Almeida J.C.H., Tupinambá M. 2000. From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: Talwani M. & Mohriak W. (eds.) *Atlantic Rifts and Continental Margins*. American Geophysical Union, Washington, DC, Geophysical Monographs, p. 1-34.
- Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R. & Brito Neves B.B. (eds.) *O Desvendado de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 203-234.
- Heilbron M., Valeriano C.M., Tassinari C.C.G., Almeida J.C.H., Tupinambá M., Siga Jr. O., Trouw R.A.J. 2008. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst R.J., Trow R.A.J., Brito Neves B.B., De Witt. (eds.) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*. London, Geological Society, Special Publication, 294 p., p. 211-232.
- Mantovani M.S.M., Shukowski W., Basei M.A.S., Vasconcellos A.C.B.C. 1989. Modelos gravimétricos das principais descontinuidades crustais nos terrenos pré-cambrianos dos estados do Paraná e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, **19**(3):367-374.
- Milani E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Instituto de Geociências, UFRGS, 255 p.
- Milani E.J. & Ramos V.A. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**(4):473-484.
- Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2):265-287.
- Miller H.G. & Singh V. 1994. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, **32**:213-217.
- Nabighian M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, **37**:507-517.
- Nabighian M.N. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics*, **39**:85-92.
- Oliveira M.J. R. 1991. *Análise do comportamento da zona de falha Cubatão-Lancinha na Bacia do Paraná*. MS Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 167 p.
- Peternel R., Trhouw R.A.J., Schmitt R.S. 2005. Interferência entre duas faixas móveis neoproterozoicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(3):297-310.
- 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. In: VIII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, SBGF Rio de Janeiro, *Resumos Expandidos*, CD-ROM.
- Quintas M.C.L. 1995. *O embasamento da Bacia do Paraná: reconstrução geofísica do seu arcabouço*. Tese de Doutorado, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 213 p.
- Reid A.B., Allsop J.M., Granser H., Millett A.J., Somerton I.W. 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, **55**(1):80-91.
- Roest W.R.J., Verhoef J., Pilkington M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57**:116-125.
- Rosales M.J.T. 2004. *Integração de dados gravimétricos terrestres e aeromagnéticos e sua aplicação ao estudo geológico-estrutural da Faixa Apiaí*. Tese de Doutorado, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 271 p.
- Santos Jr. G. 2005. *Rede Gravimétrica: Novas perspectivas de ajustamento, análise de qualidade e integração de dados gravimétricos*. Tese de Doutorado, Departamento de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 165 p.
- Siga Jr. O., Basei M.A.S., Reis Neto J.M., Machiavelli A., Harara O.M.M. 1995. O Complexo Atuba: um Cinturão Paleoproterozóico intensamente retrabalhado no Neoproterozoico. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, **26**:69-98.
- Siga Jr. O. 2010. *Geocronologia da porção sul do Terreno Apiaí: implicações tectônicas*. Tese de Livre- Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 89.

Soares P.C., Barcellos P.E., Csordas S.M., Mattos J.T., Balliero M.G., Meneses P.R. 1982. Lineamentos em Imagens Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. *In: II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto*, CNPq/INPE. Brasília: v.1 43-56

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

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.

Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge, Cambridge University Press, 770 p.

Thompson D.T. 1982. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, **47**:31-37.

Verduzco B., Fairhead J.D., Green C.M. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, **23**(2):116-119.

Wijins C., Perez C., Kowalczyk P. 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, **70**:L39-L43.

Won I.J. & Beavis M. 1987. Computing the Gravitational and Magnetic anomalies due to a polygon: Algorithms and Fortran subroutines. *Geophysics*, **52**:232-238.

Zalán P.V., Wolff S., Conceição J.C.J., Vieira I.S., APPI V.T., Zanotto O.A. 1987. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. *In: Simpósio Sulbrasileiro de Geologia*, SBG Curitiba, *Atas*, p.441-474.

Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br
