

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

MARIANA APARECIDA FERNANDES

ANÁLISE, MODELAGEM E INTERPRETAÇÃO DE DADOS
GRAVIMÉTRICOS NO LINEAMENTO GUAPIARA – REGIÃO
SUDESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Campus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Walter Malagutti Filho
Co-orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

Rio Claro - SP
2010

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WALTER MALAGUTTI FILHO (ORIENTADOR)

Prof. Dr. JOÃO CARLOS DOURADO

Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ FONSECA FERREIRA

MARIANA APARECIDA FERNANDES

Rio Claro: 17 de Setembro de 2010

Resultado: APROVADA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade e inspiração. Aos meus pais Sueli Ap. Stefani Fernandes e Giocondo Fernandes pelo apoio, paciência e principalmente por acreditarem em mim. Pelos mesmos motivos reconheço minha avó Aparecida V. Stefani.

Em especial, agradeço meu namorado Filipe Montanheiro pelo estímulo no dia a dia, pela ajuda prestada em campo e execução do trabalho, e foi quem compartilhou comigo a evolução deste estudo e depositou em mim confiança e incentivo.

Sou grata ao meu orientador Prof. Dr. Walter Malagutti Filho pela atenção e orientação. Ao técnico do Departamento de Geologia Aplicada Francisco Manuel G. Barrera (Paco), pela ajuda na etapa de campo. A todos os professores que colaboraram de maneira direta e indiretamente, seja no aprimoramento deste estudo, ou na minha formação acadêmica.

Agradeço, ainda, todos os amigos do Laboratório de Geomodelagem do Departamento de Petrologia e Metalogenia da Unesp de Rio Claro pelos momentos de descontração e trabalho durante esses dois anos e pela disponibilidade dos materiais e equipamentos.

À minha amiga Carol Palma pela colaboração em vários âmbitos e por acreditar no meu trabalho. Ao geólogo Dr. Tarcísio José Montanheiro pelos conselhos e pela ajuda técnica prestada no desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, dedico este trabalho ao meu querido avô Eduardo Stefani (*in memoriam*) que me acompanhou na fase inicial, mas não teve a oportunidade de estar comigo agora, na finalização desta dissertação. Aonde quer que você esteja te levo aqui na minha memória e sei que torce por mim, como sempre.

SUMÁRIO

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS E FOTOS	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E MÉTODOS	1
CAPÍTULO II - GEOLOGIA REGIONAL E QUADRO GEOFÍSICO DA ÁREA	6
CAPÍTULO III - GRAVIMETRIA E GPS DIFERENCIAL - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27
CAPÍTULO IV – COLETA, REDUÇÃO, ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS	41
CAPÍTULO V - MAPAS GRAVIMÉTRICOS E MODELAGEM CRUSTAL	54
CAPÍTULO VI - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXO - 1	81
ANEXO - 2	84

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E MÉTODOS

1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 METODOLOGIA.....	4

CAPÍTULO II - GEOLOGIA REGIONAL E QUADRO GEOFÍSICO DA ÁREA

2.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	6
2.1.1 Província Mantiqueira.....	7
2.1.2 O Orógeno Ribeira.....	9
2.1.2.1 Embasamento paleoproterozóico/arqueano.....	11
2.1.2.2 Unidades metassedimentares mesoproterozóicas.....	13
2.1.2.3 Unidades metassedimentares neoproterozóicas.....	13
2.1.2.4 Etapas orogenéticas.....	14
2.1.2.5 Fase pós orogênica.....	15
2.1.2.6 Terreno Embu.....	15
2.1.3 Bacia do Paraná.....	17
2.1.4 Lineamento Guapiara.....	19
2.1.4.1 Evolução tectônica.....	21
2.2 QUADRO GEOFÍSICO DA ÁREA.....	22
2.2.1 Gravimetria.....	22
2.2.2 Magnetometria.....	24

CAPÍTULO III - GRAVIMETRIA E GPS DIFERENCIAL - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 INTRODUÇÃO.....	27
3.2 TEORIA BÁSICA DA GRAVIMETRIA.....	28
3.3 MEDIÇÕES DA GRAVIDADE.....	32
3.4 TRATAMENTOS DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	33
3.4.1 Correção de deriva (C_D).....	34
3.4.2 Correção de latitude (C_l).....	35
3.4.3 Correção de maré ou luni-solar.....	36

3.4.4 Correção Ar-livre (C_A).....	36
3.4.5 Correção Bouguer (C_B).....	36
3.4.6 Correção topográfica (C_T).....	37
3.5 GPS (<i>Global Positioning System</i>) DIFERENCIAL.....	37
3.5.1 Principais características do DGPS.....	38
3.5.1.1 Fatores que Podem Acarretar Limitações na Aquisição.....	39
3.5.1.2 Fatores que Influenciam na Precisão com Dados Pós- Processados.....	39
 CAPÍTULO IV – COLETA, REDUÇÃO, ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS	
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 POSICIONAMENTO EXECUTADO POR GPS DIFERENCIAL.....	41
4.2.1 Pós-Processamento dos Dados de Posicionamento.....	43
4.3 CAMPANHA GRAVIMÉTRICA.....	45
4.4 REDUÇÕES DOS DADOS.....	48
4.4.1 Aplicação de Filtros.....	50
4.4.1.1 Filtragem Passa Baixa.....	51
4.4.1.2 Separação Regional-Residual.....	52
4.5 MODELAGEM CRUSTAL E O PROGRAMA GM-SYS.....	52
 CAPÍTULO V – MAPAS GRAVIMÉTRICOS E MODELAGEM CRUSTAL	
5.1 MAPAS DAS ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS.....	54
5.2 ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS E OS DOMÍNIOS LITOESTRUTURAIS.....	54
5.3 MAPA DE ANOMALIAS BOUGUER.....	57
5.3.1 Filtragem Passa Baixa.....	59
5.3.2 Separação Regional-Residual.....	61
5.4 MODELAGEM GRAVIMÉTRICA DA ÁREA ESTUDADA.....	62
 CAPÍTULO VI – DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	
	70

ÍNDICE DE FIGURAS E FOTOS

Figura 1. Mapa de localização do feixe de diques do Lineamento Guapiara, no contexto físico-geológico do Estado de São Paulo.....	2
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo com as principais vias de acesso.....	3
Figura 3. Mapa geológico da área, com indicação da área de estudo (CPRM, 2001).....	7
Figura 4. Mapa tectônico da América do Sul, com destaque para a subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira (modificado de ALMEIDA e HASUI, 1984; TROMPETTE, 1994; HEILBRON et al. 2004).....	8
Figura 5. Localização dos orógenos do Sistema Orogênico Mantiqueira no contexto do Gondwana Ocidental (MANTESSO NETO et al. 2004).....	10
Figura 6. Mapa tectônico dos terrenos Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves (MANTESSO NETO et al. 2004).....	11
Figura 7. Mapa Geológico do Domínio Apiaí e Terrenos Curitiba e Luis Alves adjacentes (MANTESSO NETO et al. 2004).....	12
Figura 8. Mapa Geológico do Terreno Embu e Terreno Apiaí-Guaxupé, (Domínio Apiaí) adjacente (MANTESSO NETO et al. 2004).....	16
Figura 9. Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (MILANI et al. 1994).....	18
Figura 10. Mapa de localização da Bacia do Paraná na América do Sul (MELO et al. 1997).....	19
Figura 11. Localização do Lineamento Guapiara (MIO, 2005).....	21
Figura 12. Mapa da região central do Arco de Ponta Grossa indicando a área de estudo e o alto gravimétrico entre os lineamentos São-Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo (modificado de FERREIRA, 1982 a, b e MINEROPAR, 2001).....	23
Figura 13. Mapa do campo magnético anômalo destacando a área do Lineamento Guapiara (Laboratório de Geomodelagem – UNESP Rio Claro-SP, Fonte de Dados: CPRM).....	26
Figura 14. Densidades aproximadas em diferentes materiais (Adaptado de SHERIFF, 1989).....	29
Figura 15. Representação esquemática dos efeitos da rotação da Terra e respectivos vetores (ROBINSON & ÇORUH, 1988).....	30

Figura 16. Parâmetros envolvidos na obtenção de dados gravimétricos e suas posteriores correções (modificado de SHERIFF, 1989).....	31
Figura 17. Esquema de um sistema massa-mola (LUIZ & SILVA, 1995).....	33
Figura 18. Perturbação Luni-Solar (SÁ, 1994).....	36
Figura 19. Rede de estações de referência no Brasil da Santiago & Cintra.....	44
Figura 20. Mapa de localização das estações gravimétricas obtidas em campo em conjuntos com aquelas cedidas pelo IAG – USP do trabalho de Galli et al. 1988.	45
Figura 21. Esquema de abertura e fechamento de base (<i>Loop</i>) na aquisição de dados gravimétricos. A Igreja ilustra a base e as demais fotos as estações gravimétricas.....	47
Figura 22. Etapas cumpridas no tratamento dos dados gravimétricos.....	49
Figura 23. Mapa da distribuição das entidades tectono-estratigráficas do Estado de São Paulo (Adaptado de: ALMEIDA, 1964).....	56
Figura 24. Mapa de contorno sombreado da Anomalia Bouguer do Estado de São Paulo (GALLI et al. 1988).....	56
Figura 25. Mapa de contorno sombreado da Anomalia Bouguer, isento de filtragens, com a localização das cidades e da estação base em Capão Bonito - SP.....	57
Figura 26. Mapa de contorno da Anomalia Bouguer caracterizando o forte lineamento NW-SE da área.....	58
Figura 27. Espectro de potência radial dos dados da anomalia Bouguer no domínio da frequência. Os valores do eixo X representam ciclos por unidade de medida (km).....	60
Figura 28. Espectro de potência radial das frequências no domínio do número de ondas com os valores de corte adotados para os valores da anomalia Bouguer (linha azul). A linha vermelha representa o espectro resultante.....	60
Figura 29. Mapa com os valores calculados da anomalia Bouguer submetidos à filtragem passa-baixa.....	61
Figura 30. Mapa de contorno sombreado da Anomalia Bouguer residual de grau 6.....	60
Figura 31. Localização do perfil gravimétrico entre as Cidades de Capão Bonito e Apiaí, ambas no Estado de São Paulo.....	64

Figura 32. Modelagem gravimétrica da seção AB (NE-SW) caracterizando a influência do conjunto de diques. Os pontos representam os valores observados no campo e a linha contínua a curva calculada. A curva em vermelho representa o desajuste.....65

Figura 33. Modelagem gravimétrica da seção AB (NE-SW) caracterizando a influência dos diques. Os pontos representam os valores observados no campo e a linha contínua a curva calculada. A curva em vermelho representa o desajuste.....66

Foto 1. Levantamento gravimétrico e coleta do posicionamento (DGPS).....42

Foto 2. Gravímetro LaCoste & Romberg, utilizado no levantamento gravimétrico.....46

Foto 3. Estação base gravimétrica nomeada de Capão Bonito “B”.....48

RESUMO

A gravimetria é um método geofísico empregado para subsidiar o entendimento de estruturas em subsuperfície contribuindo para a elucidação sobre arranjo, relações e compartimentações entre massas crustais. No presente trabalho o emprego da gravimetria auxiliou na caracterização do arcabouço estrutural na região do Lineamento Guapiara, onde ocorre um enxame de diques básicos mesozóicos subparalelos às direções N40-50W com 600 km de extensão e 20 a 100 km de largura, chegando ao litoral na região de Iguape (SP). Os diques atravessam os terrenos pré-cambrianos e o embasamento da Faixa Ribeira e penetram na Bacia do Paraná até a altura do Rio Paraná, a qual é representada pelo falhamento da Serra da Fatura, marcado por grande diastrofismo. A elaboração de mapas de contorno isogálicos da anomalia Bouguer revelou um acentuado alto gravimétrico orientado segundo NW-SE o qual corresponde ao *trend* de maior concentração de diques, correlacionável ao Lineamento de Guapiara. Algumas filtragens foram feitas a fim de separar as anomalias provenientes de corpos rasos e profundos, aplicando filtros do tipo Separação Regional-Residual e Passa Baixa respectivamente, os quais destacaram as fontes rasas representadas pelos diques de diabásio, e as mais profundas, provenientes da Moho (anomalias regionais). Foram elaborados modelos crustais baseados em valores da anomalia Bouguer que caracterizam o alto gradiente gravimétrico ressaltado na área do feixe de diques, procurando reconhecer a influência do manto. As seções modeladas permitiram identificar o comportamento do relevo do embasamento, cujas anomalias estão em concordância com as feições geológicas reconhecidas, bem como a espessura da crosta ao longo da área, a qual é compatível com trabalhos anteriores. Constatou-se que na região do Lineamento Guapiara ocorre um significativo afinamento da crosta, em decorrência da subida do Manto, reflexo da atividade epirogenética que representa a propagação de esforços que ocorreram na margem da placa relacionados com a tectônica divergente no interior da placa no Cretáceo.

Palavras-chave: Gravimetria. Lineamento Guapiara. Anomalia Bouguer. Modelagem.

ABSTRACT

The geophysics, particularly the gravimetry, has been used to support the understanding of subsurface structures, contributing to the elucidation of arrangement, relations and partitioning between crustal masses. In the present work, the use of gravimetry helped in the characterization of the structural framework in the region of Guapiara Lineament, where there is a swarm of mesozoic basic dykes subparallel to the directions N40-50W with 600km of extension and 20 to 100 km length, reaching the coast in Iguape region (SP). The dykes cross the precambrian lands and the basement of the Ribeira Belt, and penetrate in the Parana Basin to the height of the Parana River, which is represented by the faulting of the Sierra of Plenty, marked by great diastrophism. The confection of maps of the Bouguer Anomaly revealed a accentuated high gravimetric guided by NW-SE which corresponds to the trend of highest concentration of dykes, correlated to the Guapiara Lineament. Some filtering were made to separate the anomalies from shallow and deep bodies, applying filters like Regional-Residual Separation and Band Pass respectively, which highlighted the shallow sources represented by basic dikes, and deeper, from the Moho (regional anomalies). Finally, crustal models were made based on Bouguer anomaly values that characterize the high gravimetric gradient highlighted in the beam area of dykes, to recognize the influence of the mantle, and consequently, the earth's crust. The modeled sections allowed to identify the behavior of the relief of the basement, and its anomalies are in consistent with the known geological features as the thickness of the crust along the area that is compatible with previous studies, which assume depths ranging from 35 to 42 km. Finally, it was found that in the region of Guapiara Lineament occurs a significant thinning of the crust due to the rise of the Moho, reflect of the epirogenetic activity representing the spread of efforts that happened on the margin of the plate related to the divergent tectonic interspersed with the thermal effect and to the local extension within the plate.

Keywords: Gravimetry. Guapiara Lineament. Bouguer Anomaly. Modeling.

1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E MÉTODOS

1.1 INTRODUÇÃO

Um levantamento gravimétrico aliado ao reconhecimento geológico-estrutural fornecem informações necessárias para criar hipóteses, confirmar e/ou refinar modelos, subsidiando a localização de eventuais estruturas de grande porte, que podem contribuir para a elucidação dos processos evolutivos que ocorreram numa determinada área.

A presente pesquisa pretende contribuir para um melhor entendimento de feições estruturais relacionadas ao Lineamento Guapiara, uma feição geológica que ocorre no Sudeste do Estado de São Paulo. Estas estruturas correspondem a um feixe de diques que têm início no litoral sul do Estado (Iguape), atravessam terrenos pré-cambrianos e penetram na Bacia do Paraná até a altura da confluência dos rios Verde e Paraná (Figura 1).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi empregado o método geofísico da gravimetria terrestre, que fornece indicações sobre o arranjo, relações e compartimentações entre massas crustais, as quais associadas às informações sobre a constituição litológica e estruturas geológicas constituem uma importante base para modelagens tectônicas, que é um dos objetivos desta pesquisa.

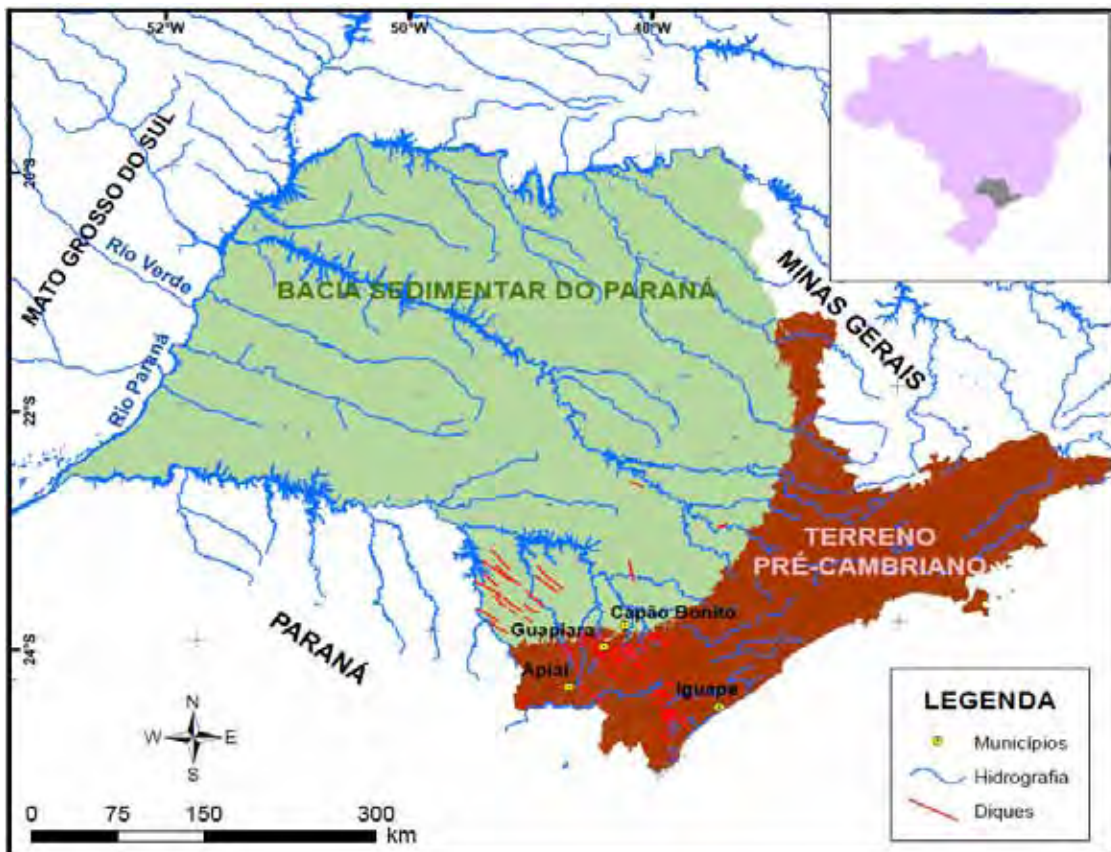


Figura 1. Mapa de localização do feixe de diques do Lineamento Guapiara, no contexto físico-geológico do Estado de São Paulo.

1.2 LOCALIZAÇÃO

A região estudada localiza-se no Sudeste do Estado de São Paulo, mais precisamente entre as cidades de Capão Bonito e Apiaí (Figura 2). Corresponde a uma área contida no Lineamento Guapiara, caracterizado por uma feição estrutural segundo a direção preferencial NW-SE, com 600 km de extensão e de 20 a 100 km de largura, chegando ao litoral na região de Iguape – SP (FERREIRA, 1982 a). Também está inserida na área pesquisada a cidade de Guapiara, cujo nome intitula o Lineamento local.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa é o de caracterizar o arcabouço estrutural na região do Lineamento Guapiara buscando reconhecer a geometria da compartimentação crustal bem como sua espessura.

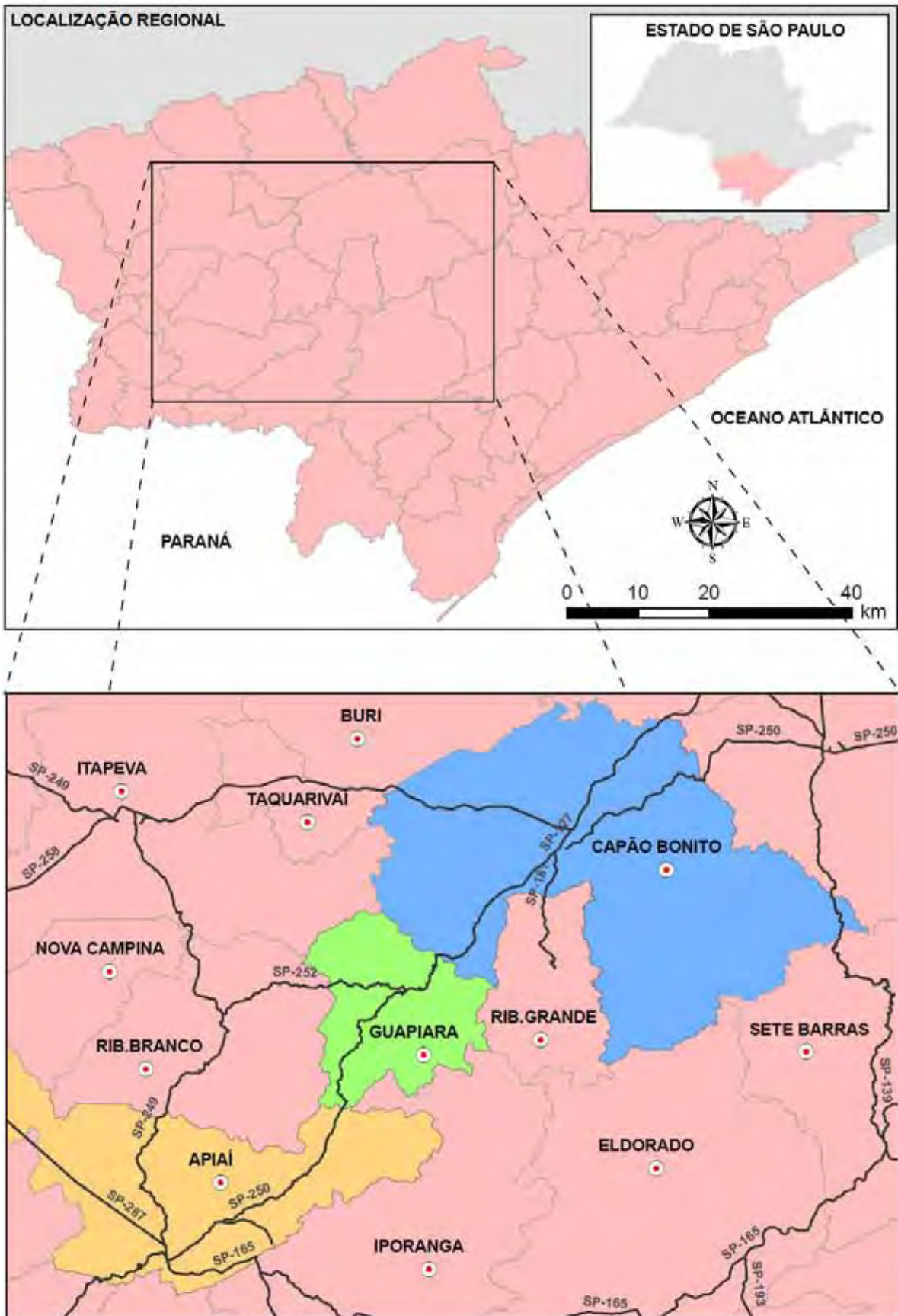


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo com as principais vias de acesso.

Para tanto, foi empregado o método geofísico da gravimetria, que integrado às informações litoestruturais já existentes em bibliografias variadas, forneceu elementos para a formulação e refinamento de modelos tectônicos que balizaram essas estruturas em subsuperfície. Embora a estrutura superficial e a cinemática das falhas tenham sido reconhecidas, pouco se sabe do comportamento em subsuperfície, carecendo de um estudo da crosta e manto superior, nos quais os diques que compõem o Lineamento foram formados.

Objetiva-se que esta dissertação contribua para o entendimento em subsuperfície do Lineamento Guapiara através dos mapas de contornos isogálicos da anomalia Bouguer, mapas com algumas filtragens que realçam a interface crosta/manto e por fim, a elaboração de modelo geológico-estrutural baseado na gravimetria.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento, preparação e elaboração final deste estudo foram cumpridas algumas etapas básicas. Dentre elas, as principais fases de desenvolvimento e a metodologia empregada podem ser resumidas da seguinte forma:

- Pesquisa bibliográfica visando o levantamento de dados existentes tais como mapas ou publicações referentes ao método empregado e ao quadro geológico em que a área está inserida;
- Levantamento gravimétrico terrestre conjuntamente ao posicionamento das coordenadas horizontais (X e Y) e altimétricas (Z) das estações, utilizando-se do GPS Diferencial com dados pós-processados;
- Correção diferencial das coordenadas através da utilização do software GPS Pathfinder Office o qual possui rotinas necessárias para gerenciar um projeto de coleta, que permite corrigir, editar e visualizar dados adquiridos no campo;
- Reprocessamento de dados gravimétricos do trabalho de Galli et al. (1988) – Carta gravimétrica do Estado de São Paulo (IPT) por meio da plataforma OASIS/MONTAJ da Geosoft Inc;

- Reduções, correções e cálculos dos valores das anomalias gravimétricas regionais e residuais de dados obtidos em campo em conjunto com aqueles da Carta Gravimétrica do Estado de São Paulo, para posterior elaboração do Mapa da Anomalia Bouguer;
- Processamento, análise e interpretação dos dados gravimétricos por meio de aplicação de filtros e rotinas específicas de tratamento de dados;
- Integração dos dados geofísicos e estruturais para elaboração do modelo tectônico e crustal da área;
- Modelagem dos dados gravimétricos com uso do *software* GM-SYS da *Northwest Geophysical Associates* (NGA).

2 - GEOLOGIA REGIONAL E QUADRO GEOFÍSICO DA ÁREA

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

Na área deste estudo ocorrem os diques que definem o Lineamento⁽¹⁾ Guapiara, que regionalmente iniciam na margem continental sudeste brasileira, atravessam os terrenos pré-cambrianos e o embasamento da Faixa Ribeira penetrando, por fim, na Bacia do Paraná. Portanto neste capítulo serão discutidos os aspectos litológicos/estruturais de parte da Província Mantiqueira (mais especificamente o Orógeno Ribeira) e da Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 3).

⁽¹⁾ Apesar dos diversos trabalhos anteriores mencionarem Alinhamento de Guapiara, optou-se aqui fazer referência à Lineamento, por constituir uma feição linear mapeável, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo o que difere distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, reflete um fenômeno de subsuperfície (O'LEARY, 1976).

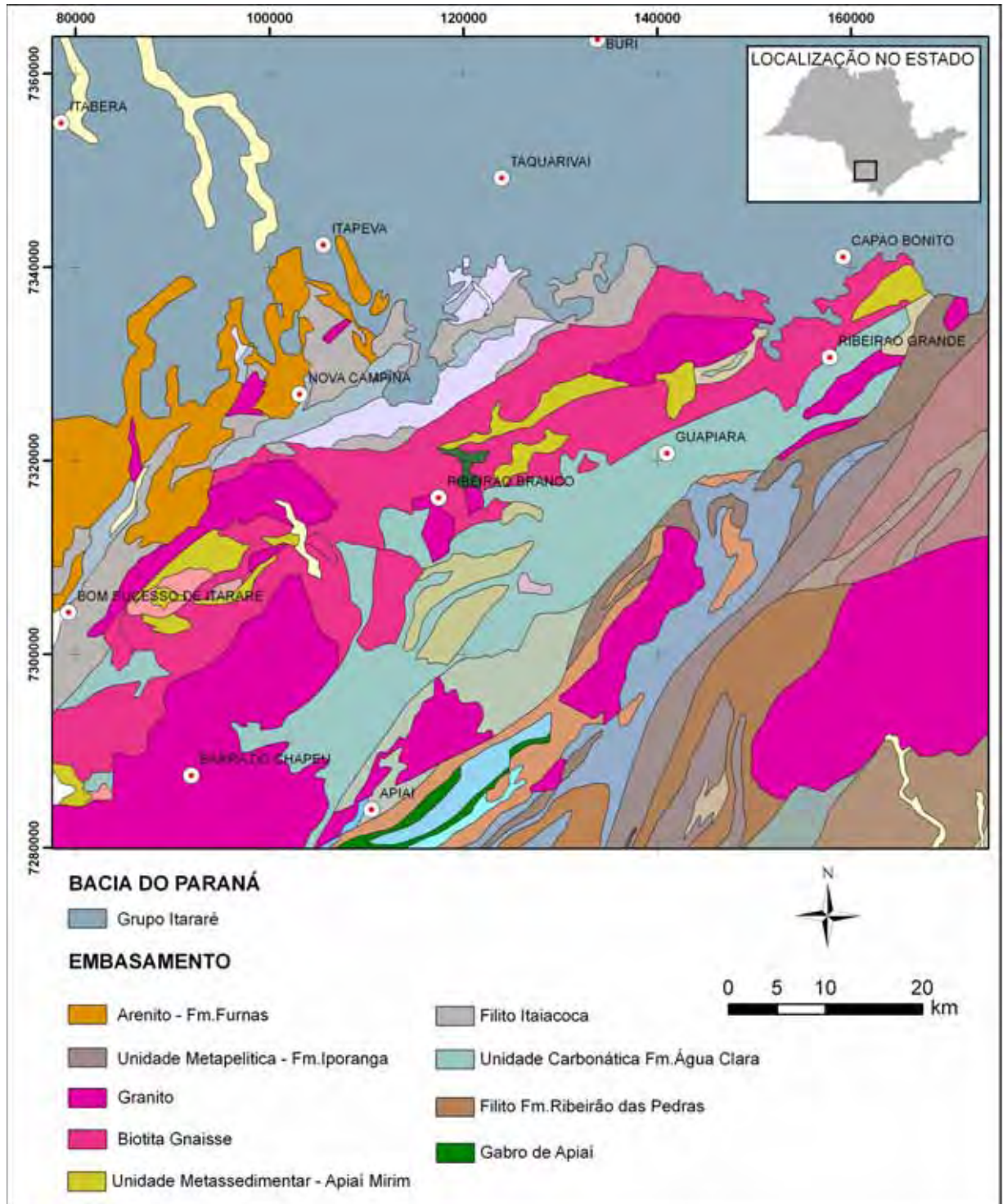


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2001).

2.1.1 Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira é um sistema orogênico Neoproterozóico instalada no Sul e Sudeste do Brasil, que se estende por cerca de 3.000 km com orientação NNE-SSW ao longo da costa atlântica. Ela compreende os orógenos Araçuai,

Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (Figura 4) e faz limite com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná (ALMEIDA et al. 1973).

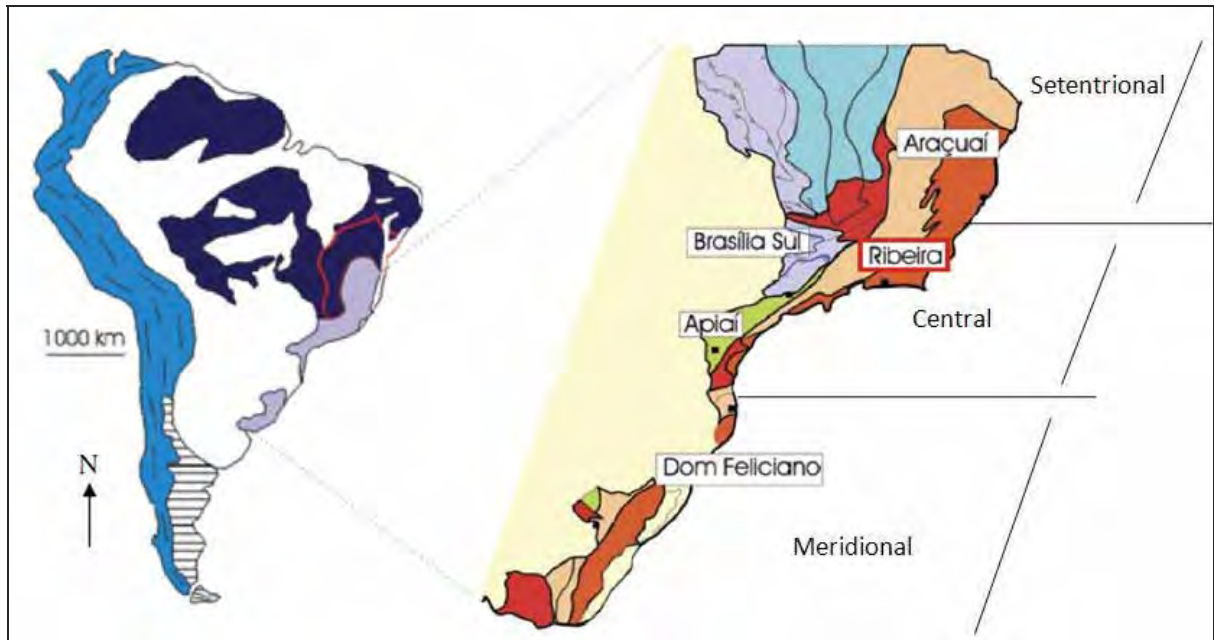


Figura 4. Mapa tectônico da América do Sul, com destaque para a subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira (modificado de ALMEIDA e HASUI, 1984; TROMPETTE, 1994; HEILBRON et al., 2004).

Na província registrou-se uma longa e complexa evolução neoproterozóica na América do Sul (900–520 Ma) preservando remanescentes de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas. Constitui, juntamente com a extremidade meridional da Província Tocantins, o arcabouço pré-cambriano do Sudeste brasileiro, por onde cruzam os diques do Lineamento Guapiara (ALMEIDA et al., 1973).

Apesar das muitas propostas de nomenclatura estratigráfica disponíveis na literatura, no entanto, uma subdivisão lito-tectônica tem sido aplicada para se referir à Província Mantiqueira como um todo (HEILBRON et al., 2004), que servirá de base nesta pesquisa.

Foram individualizados, o embasamento ortognáissico paleoproterozóico, coberturas sedimentares paleo-mesoproterozóicas e seqüências sedimentares e granitóides neoproterozóicos:

- a- Rochas do embasamento Arqueano e/ou paleoproterozóico mais antigas que 1.7 Ga;

- b- Seqüências metassedimentares depositadas em bacias intracratônicas paleoproterozóicas a mesoproterozóicas;
- c- Sucessões de margem passiva neoproterozóica, que incluem abertura e fechamento de oceanos, além de estágio de colisão continental;
- d- Granitóides neoproterozóicos pré-colisionais contemporâneos a processos de subducção;
- e- Granitóides neoproterozóicos sin a tardi-colisionais;
- f- Granitóides pós-colisionais.

2.1.2 O Orógeno Ribeira

A área deste estudo está compreendida no segmento central da Província Mantiqueira, mais especificamente no orógeno Ribeira. É a principal unidade da Província e um dos vários cinturões orogênicos neoproterozóicos, resultado da interação entre o cráton do São Francisco e outra(s) placas e/ou microplaca(s) e/ou arco de ilhas situado(s) a Sudeste deste cráton, bem como com a porção Sudoeste do cráton do Congo (Figura 5). Estende-se por 1400 km ao longo da margem Atlântica no Sudeste brasileiro com *trend* estrutural NE-SW (ALMEIDA et al., 1973; HASUI et al., 1975).

A área de estudo abrange os terrenos Apiaí, São Roque e Embu. A relação destes com os terrenos da extremidade Sul do orógeno Brasília e com o orógeno Ribeira (Figura 6) ainda é objeto de especulações. Contudo, vale ressaltar que o termo orógeno Ribeira nasceu nesta região, onde se localiza o Vale do Ribeira que em cujos mapas regionais associam estes terrenos ao orógeno Ribeira.

O limite dos terrenos Apiaí-São Roque e a Nappe Socorro-Guaxupé, localizada a Norte, é caracterizado por um acentuado aumento no grau metamórfico delimitado pela zona de cisalhamento dextral Jundiuvira. O contato Sudeste é marcado por zonas de cisalhamento dextrais, como a zona de cisalhamento de Lancinha, com o terreno Curitiba e zona de cisalhamento Caucaia-Rio Jaguari, com o terreno Embu (Figuras 7).

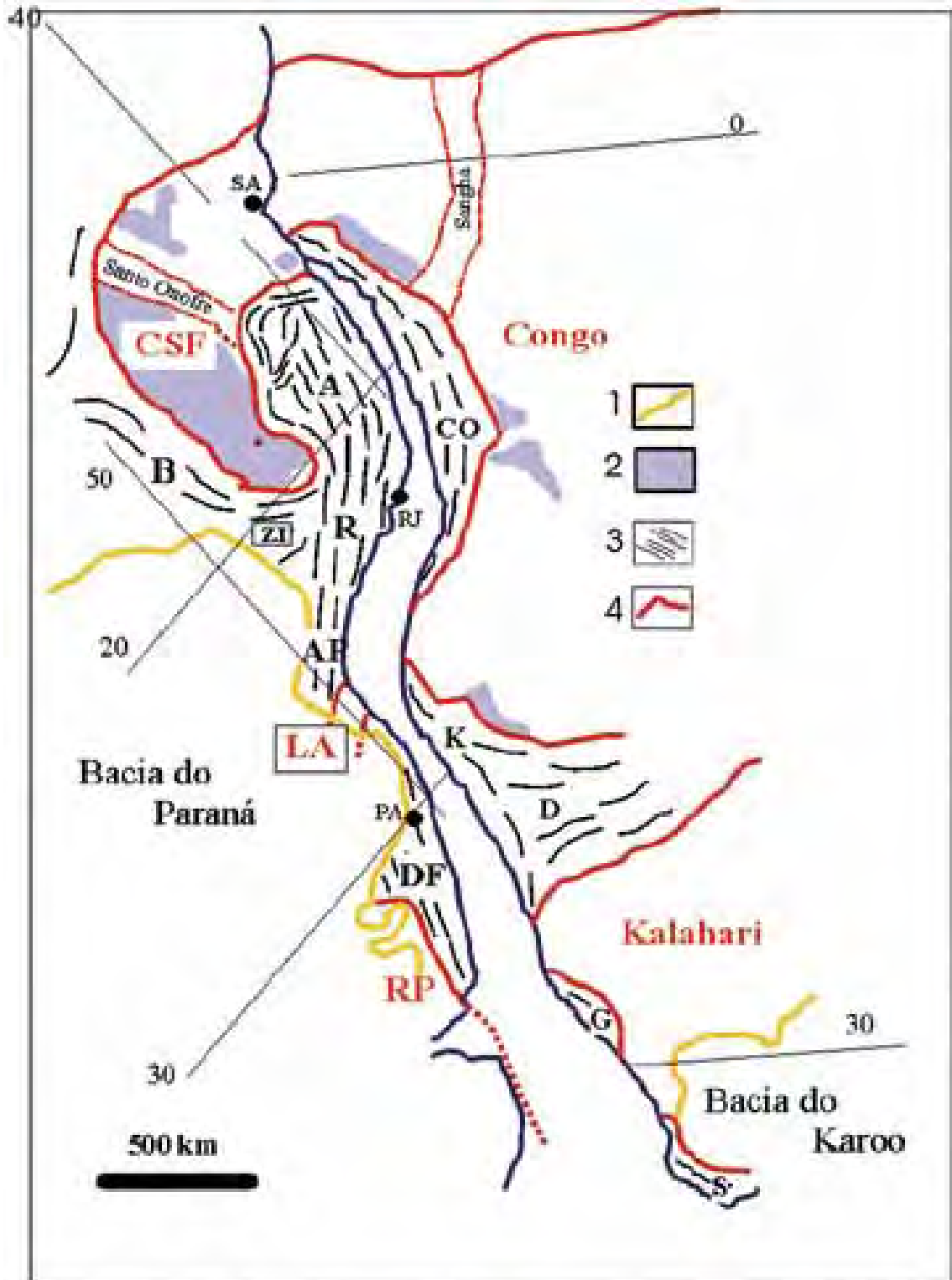


Figura 5. Localização dos orógenos do Sistema Orogênico Mantiqueira no contexto do Gondwana Ocidental (modificado de Trompette, 1994). 1- Bacias fanerozóicas. 2- Coberturas cratônicas. 3- Orógenos neoproterozóicos (B- Brasília, A- Araçuaí, R- Ribeira, ZI- Zona de Interferência, AP- Apiaí, DF- Dom Feliciano). 4- Crátos neoproterozóicos (CSF- São Francisco, LA- Luis Alves, RP- Rio de La Plata). Na África localizam-se as faixas neoproterozóicas do Congo Ocidental (CO), Kaoko (K), Damara (D), Gariép (G) e Saldania (S), relacionadas aos crátos do Congo e Kalahari (MANTESSO NETO et al., 2004).

O orógeno Ribeira está relacionado à segunda etapa de colisão continental (ca. 580 Ma) cujo empilhamento de terrenos foi de Leste para Oeste-Noroeste. Como esta colisão foi oblíqua, a deformação principal exibe predominância de encurtamento frontal e zonas com componente transpressiva dextral. Portanto, os limites das compartimentos tectônicos são representados por empurrões com mergulhos íngremes ($>30^\circ$), ou por zonas de cisalhamento oblíquas (EBERT, 1998).

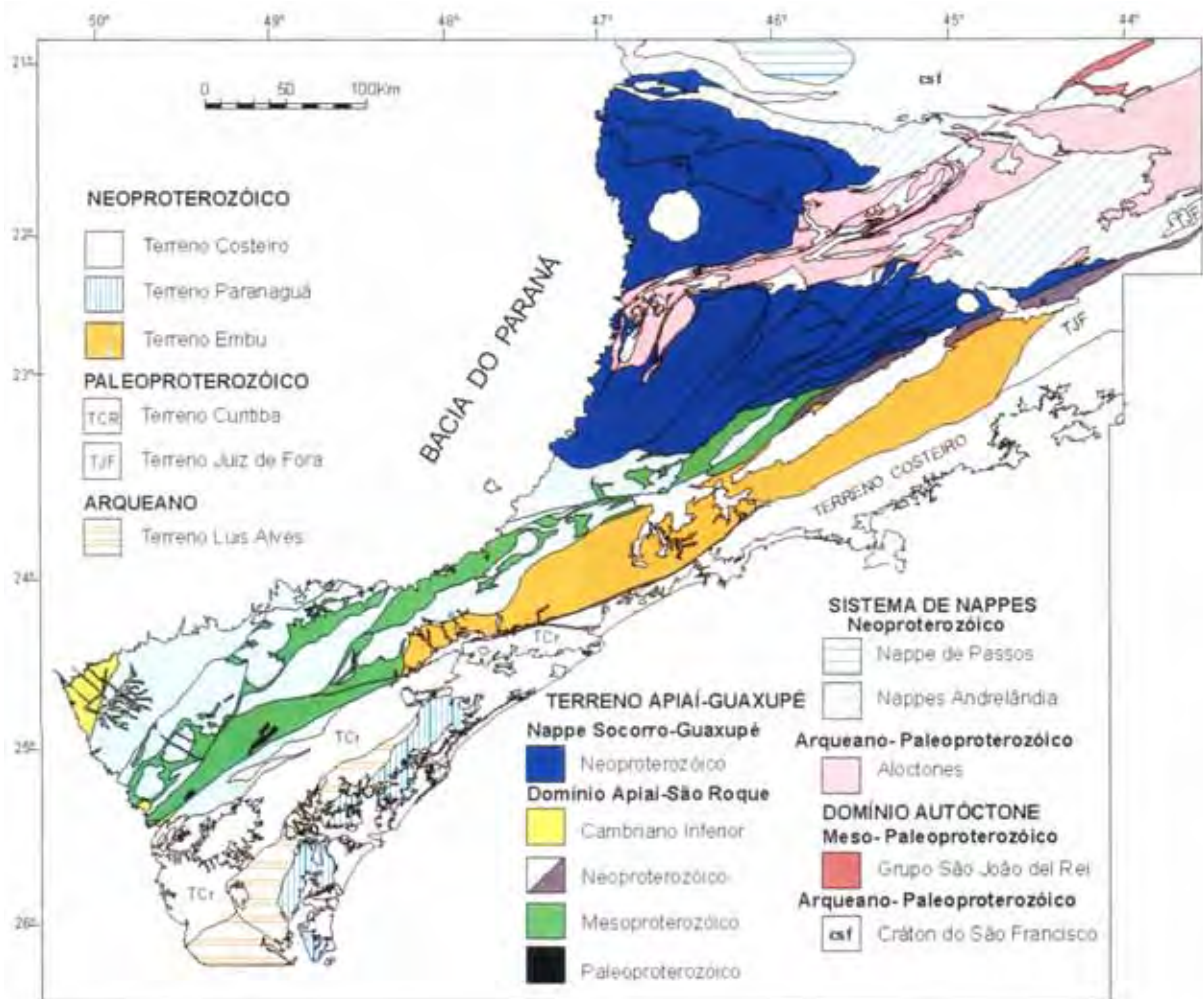


Figura 6. Mapa tectônico dos terrenos Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves (MANTESSO NETO et al., 2004).

2.1.2.1 Embasamento paleoproterozóico/arqueano

Quanto ao embasamento paleoproterozóico, são raras as porções aflorantes e se restringem a ortognaisses peralcalinos estaterianos localmente intrudido em gnaisses tardi-riacianos. Os ortognaisses configuram corpos alongados de composição sienogranítica e idade estateriana (ca. 1,75 Ga) e associam-se a

gnaises monzogranito-granodioríticos (ca. 2,1 Ga) riacianos (KAULFUSS, 2001; CURY et al., 2002), em concordância com núcleos alongados gnáissicos-migmatíticos (Betara e Tigre) de seqüências mesoproterozóicas.

A idade do embasamento é sugerida pelas idades-modelo Sm-Nd das coberturas metassedimentares, que levam a valores do Paleoproterozóico (REIS NETO, 1994; BASEI et al., 1997; PRAZERES FILHO, 2000; RAGATKY et al., 2003).

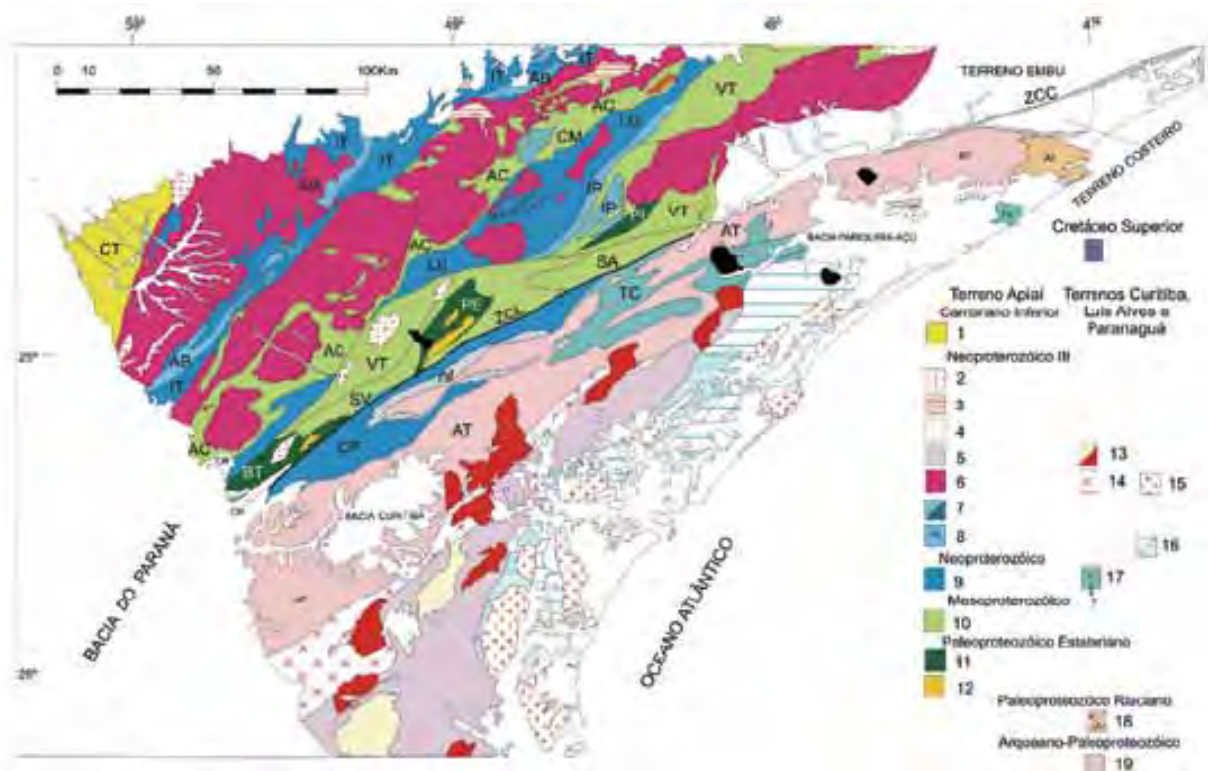


Figura 7. Mapa Geológico do Domínio Apiaí e Terrenos Curitiba e Luis Alves adjacentes. Legenda Domínio Apiaí (1-12): 1-Grupo Castro; 2-Granitos tipo-A; 3-Província Granítica Itu; 4-Fm. Camarinha; 5- Faixa milonítica; 6- Granitóides cálcio-alcalinos; 7-Fm. Iporanga (IP), Sequência Córrego dos Marques (CM), Conjunto Saivá (SV); Gabro Apiaí (ap); 8-Fm. Abapã/Bairro da Estiva; 9-Gp. Itaiacoca (IT), SGp. Lageado (LG), Fm. Capiçu (CP); 10-Fm. Águas Claras (AC), Fm. Votuverava (VT), Seq. Serra das Andorinhas (SA); 11-Fm. Perau (PE), Núcleo Betara (BT), Seq. Piririca (PI); 12-Ortognaisses peralcalinos. Terrenos Curitiba, Luis Alves e Paranaguá (13-19); 13-Bacias extensionais vulcano-sedimentares, Suíte granítica peralcalina; 14- Granitóides cálcio-alcalinos; 15-Granitóides; 16-Metassedimentos proto-miloníticos, 17-Sequência Turvo- Cajati; 18-Complexo Atuba (AT)/Granulito Juréia (JU); 19-Ortognaisses e granulitos Luis Alves (MANTESSO NETO et al., 2004).

2.1.2.2 Unidades metassedimentares mesoproterozóicas

As unidades metassedimentares que afloram na região vêm sendo classicamente designada de Grupo Açungui e compreendem faixas orientadas segundo a direção NE/SW controladas por zonas de cisalhamento laterais (ALMEIDA, 1956; MARINI et al., 1967; CAMPANHA, 2002; FIORI, 1992; CAMPANHA & SADOWSKY, 1999).

No terreno Apiaí, a unidade basal metavulcano-sedimentar corresponde à Formação Perau, que é composta por quartzitos, mármore e rochas calciossilicáticas, grafita xistos, cálcio-filitos, formações ferríferas bandadas com intercalações de metabasaltos toleíticos sub-alcálicos. Dados de litogeoquímica apontam semelhanças químicas de fundo oceânico em transição a toleíticos de arco de ilhas (DAITX, 1996).

Já o topo da seqüência metavulcano-sedimentar é dado pela Formação Votuverava, uma extensa unidade turbidítica composta por metarritmitos, metassiltitos, metarenitos e filitos grafitosos com estratos gradados, laminações plano-paralelas e do tipo-*climbing ripple*. Algumas associações litológicas, como metaconglomerados, anfíbolitos, turmalinitos, formações ferríferas bandadas e gonditos sugerem o discreto vulcanismo toleítico na bacia (MANTESSO NETO et al. 2004).

Mais a norte do orógeno Ribeira, ocorre a Formação Águas Claras, predominantemente carbonática, composta por mármore, rochas cálcio-silicáticas, cálcio-filitos, quartzitos e metacherts, associados a anfíbólio xistos, granada-clorita-biotita xistos, metatufos básicos e intermediários, e anfíbolitos. Descontinuamente, mas na extensão Nordeste desta faixa, já no terreno São Roque, ocorre a seqüência metavulcano-sedimentar do Grupo Serra de Itaberaba, caracterizada pelo predomínio de rochas metabásicas, com afinidades de toleíticos de fundo oceânico na base, que gradam para metavulcânicas andesíticas e riolíticas, típicas de arco de ilhas (JULIANI, 1993; JULIANI & BELJAVSKIS, 1995).

2.1.2.3 Unidades metassedimentares neoproterozóicas

As seqüências neoproterozóicas são compostas por sucessões carbonáticas plataformais limitadas por zonas de cisalhamentos laterais. A porção mais a Norte é

representada pelo Grupo Itaiacoca (ALMEIDA, 1956; SOUZA, 1990), composto por metassiltitos, metarritimitos e filito sobreposta por ortoquartzitos finos e metadolomitos (FAIRCHILD, 1982; THEODOROVICZ et al., 1986). Já a Sul, o Subgrupo Lageado (CAMPANHA et al., 1987) é definido como uma seqüência progradacional regressiva de plataforma rasa dominada por ondas, com transição para terrígenos de borda de talude e rampa carbonática (PIRES, 1991).

A Sul da zona de cisalhamento Lancinha (Figura 7) com cavalgamento para E-SE sobre gnaisses do terreno Curitiba, incide o Grupo Capiçu, no qual Fiori (1992) reconhece filitos, quartzitos e mármore alternados interpretados como integrantes da margem passiva neoproterozóica do terreno Curitiba.

Uma segunda série de seqüências neoproterozóicas caracteriza-se por metassedimentos terrígenos imaturos com metaconglomerados e/ou filitos que correspondem às Formações Abapã-Bairro da Estiva e Iporanga, uma unidade orogênica do tipo *flysch* (SOUZA, 1990; REIS NETO, 1994).

A extensão Nordeste das faixas neoproterozóicas corresponde ao grupo São Roque o qual foi dividido em quatro unidades (HASUI, 1975; BERGMANN 1988):

1. Formação Pirapora do Bom Jesus: unidade basal, metavulcano-sedimentar com lentes de mármore e metadolomitos estromatolíticos;
2. Formação Pirajibu: espesso pacote metapsamítico;
3. Formação Estrada dos Romeiros: metarritimitos e filitos;
4. Formação Boturuna: metarenitos arcoseanos.

Metarriolitos intrudidos nestas unidades foram datados em *ca.* 610 Ma avaliada como idade mínima para a deposição do Grupo São Roque (HACKSPACHER et al., 2000).

2.1.2.4 Etapas orogenéticas

De acordo com Juliani (1993), é possível que as seqüências mesoproterozóicas registrem uma história metamórfica e deformacional anterior à instalação das bacias neoproterozóicas, como foi descrito para o Grupo Serra do Itaberaba.

De modo geral, nas sucessões metassedimentares há um predomínio de metamorfismo fácies xisto verde de baixa pressão (PRAZERES FILHO, 2000). Outro pulso tectono-metamórfico relaciona-se ao cinturão de alto ângulo (CAMPANHA,

2002) e de baixa temperatura (FALEIROS, 2003), resultando numa transpressão, com dobramento com plano axial de direção NE e vergência SE. Essas zonas de colisão oblíqua controlam tanto contatos entre as unidades quanto os limites dos terrenos. Dentre elas, as mais importantes são: Agudos Grandes, Taxaquara, Ribeira, Lancinha, Cubatão, Morretes-Faxinas (CAMPANHA, 2002).

O magmatismo granítico predominante é o cálcio-alcalino potássico, que compõem três extensos batólitos alongados na direção NE-SW: Cunhaporanga, Três Córregos e Agudos Grandes (MANTESSO NETO et al., 2004).

2.1.2.5 Fase pós-orogênica

Esta fase é marcada pela intrusão de granitos datados em 590-580 Ma. Possuem coloração rosada e assinatura geoquímica do tipo-A da séria aluminosa (LEITE, 2003).

Nas bacias tardi a pós-colisionais (BASEI et al.,1998) ocorre a Formação Camarinha, que apresenta depósitos estruturados, rudáceos-psamíticos e é tida como de antepaís relacionada aos últimos episódios das zonas de cisalhamento. O Grupo Castro é uma bacia extensional, pós-orogênica, com intenso vulcanismo ácido-intermediário de idade Cambriano Inferior (CORDANI et al., 1999).

2.1.2.6 Terreno Embu

O terreno Embu está limitado por espessas zonas de cisalhamento dextrais, a Norte pela Caucaia-Rio Jaguari e Sul pela Cubatão. Longitudinalmente, acunha-se no terreno Juiz de Fora, a Norte, e no terreno Apiaí-Guaxupé, a Sul (Figura 8 - MANTESSO NETO et al., 2004).

O arcabouço paleoproterozóico (Complexo Rio Capivari; FERNANDES et al.,1990), alongado e inserido em zonas de cisalhamento é constituído por ortognaisse orosiriano (2,0 Ga; BABINSKY et al., 1996) e o metamorfismo principal é de fácies anfíbolito (VIEIRA, 1996) de idade ca. 790 Ma (VLACH, 2001).

A supraestrutura metassedimentar corresponde ao Complexo Embu (HASUI, 1975), agrupado em três unidades estratigráficas (FERNANDES et al.,1990):

1. Unidade Rio Una: superior e composta por micaxistos e quartzitos imaturos;

2. Unidade Rio Paraibuna: clasto-química, com abundantes quartzitos e calciossilicáticas e intercalações de biotita gnaisses finos e anfibolitos;
3. Unidade Redenção da Serra: dominada por gnaisses peraluminosos, plagioclásio-biotita gnaisses/xistos porfiroclásticos, anfibolitos, gnaisses cálcio-silicáticos e mármores restritos.

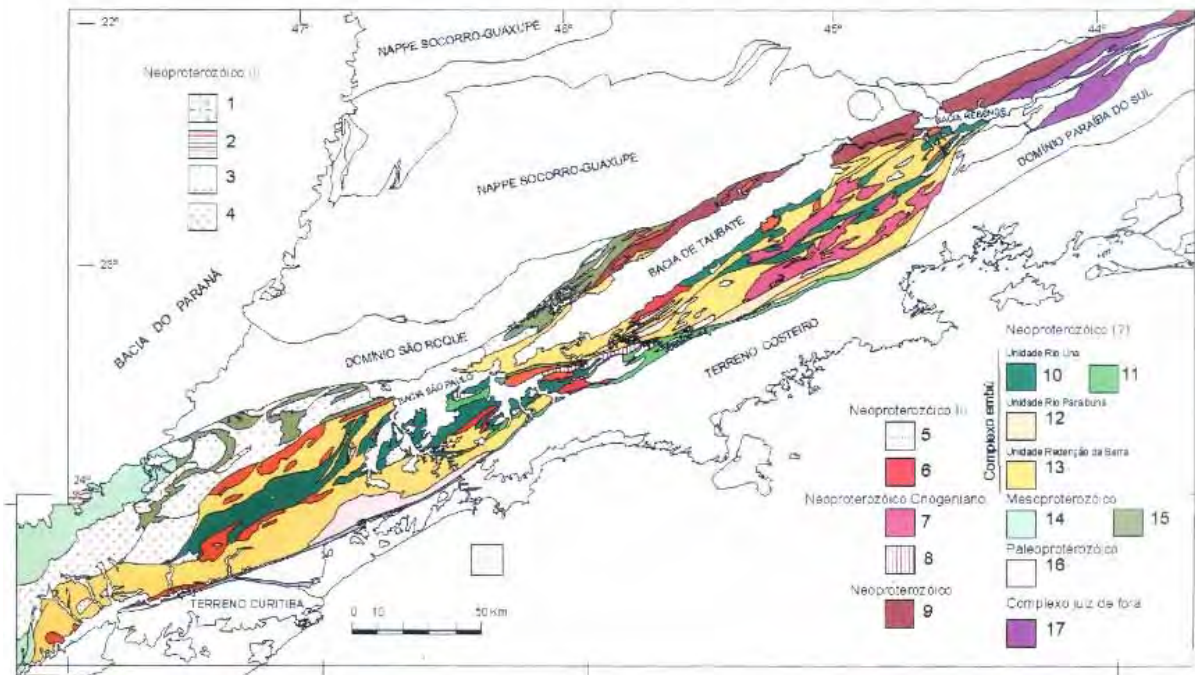


Figura 8. Mapa Geológico do Terreno Embu e Terreno Apiaí-Guaxupé, (Domínio Apiaí) adjacente. Legenda: 1-Granitos tipo-A; 2-Granitos da Província Itu; 3-Bt e/ou Bt-Ms granitos; 4-Hbl-Bt granitoides porfirítico-porfiroclásticos; 5-Bt e/ou Ms-Bt granitos crustais e granitos indiferenciados; 6-Bt granitos crustais; 7-Ms granitos tipo-Quebra Cangalha e Bt granitos tipo-Lagoinha; 8-Bt tonalito-granitos gnáissicos tipo-S (australianos); 9-Faixa Milonítica Rio Jaguari; Complexo Embu (10-13) 10-Unidade Rio Una- Xistos, quartzitos e rochas calciossilicáticas (Fácies anfibolito); 11-Unidade Rio Una- Xistos e quartzitos (Facies Xisto Verde); 12-Unidade Rio Paraibuna- Gnaisses quartzosos com intercalações de Bt gnaisses finos, Sil gnaisses e rochas calciossilicáticas; 13-Unidade Redenção da Serra-Sil gnaisses com anfibolitos, Bt gnaisses, rochas calciossilicáticas e raros mármores. Transições freqüentes a migmatitos; 14-Filitos rítmicos e quartzitos (Fm. Votuverava); 15-Micaxistos com transição a gnaisses e migmatitos; 16-Tonalito gnaisses migmatíticos (Complexo Rio Capivari); 17- Complexo Juiz de Fora- Enderbitto gnaisses (MANTESSO NETO et al., 2004).

Percebe-se a ausência do magmatismo neoproterozóico marcado pela deficiência de granitos metaluminosos, tão expressivos nos terrenos vizinhos (JANASI & ULBRICH, 1991). Predominam biotita granitos porfiríticos a

inequigranulares e muscovita-biotita monzogranitos equigranulares (MANTESSO NETO et al., 2004).

As determinações de idades nessa região são escassas, porém, dados recentes revelam que os granitos peraluminosos foram gerados ao longo de pelo menos 200 milhões de anos, em contínuos eventos de reciclagem da crosta continental (JANASI et al., 2003). Entretanto, a maioria das ocorrências graníticas do terreno Embu foi gerada entre 600 e 590 Ma, após o pico de magmatismo e metamorfismo nos domínios a Oeste e Norte (terreno Apiaí-Guaxupé) (MANTESSO NETO et al., 2004).

2.1.3 Bacia do Paraná

Sob o ponto de vista regional, das rochas que compõem a coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Paraná, cabe neste item uma breve descrição do cenário estrutural e litológico desta sinéclise.

A Bacia Sedimentar do Paraná é uma unidade geotectônica, com evolução registrada a partir do final do Pré-Cambriano, após a estabilização da Plataforma Sul-Americana. A atual configuração litoestratigráfica (Figura 9) mostra particularidades notáveis devido, em grande parte, à compartimentação da bacia fruto da influência de fraturas, arqueamentos e flexuras do embasamento que controlaram a sedimentação das unidades (FULFARO et al., 1984).

A área brasileira abrangida pela bacia representa aproximadamente 1.150.000 km², sendo que 600.000 km² ramificam-se para Argentina, Uruguai e Paraguai (MELO et al., 1997 – Figura 10). Durante toda sua época de formação, a Bacia Sedimentar do Paraná acumulou 5.000m de sedimentos e lavas com dobramentos incipientes e locais.

A ocorrência da Bacia na área estudada é bem restrita, aparecendo somente o Grupo Itararé nas proximidades da cidade de Capão-Bonito – SP. Este Grupo é composto principalmente por diamictitos, reflexo do ambiente de deposição marinho glacial (SCHNEIDER et al., 1974), porém podem ocorrer também arenitos, constituindo desde camadas delgadas a bancos, de granulação heterogênea (de muito fino a conglomerático). Tem como limite na base uma superfície de erosão entalhada em rochas cristalina pré-siluriana e no topo uma discordância.

compõem a Bacia estabelecem um arcabouço de lineamentos com orientação predominantemente de direção NE-SW nas porções centro-Sul e Norte da bacia, N-S junto ao atual flanco Oeste, e NW-SE na parte Nordeste da sinéclise.



Figura 10. Mapa de localização da Bacia do Paraná na América do Sul (MELO et al. 1997).

2.1.4 Lineamento Guapiara

A atividade ígnea mesozóica na região Sudeste do Estado de São Paulo é representada por inúmeros diques de diabásio, subparalelos às direções N40-50W, e pelos complexos alcalinos eocretácicos de Jacupiranga e Juquiá, que compreendem duas associações plutônicas de rochas máficas-ultramáficas alcalinas

com peridotitos, piroxenitos, ijolitos, nefelina sienitos, álcali gabros e nucleos carbonatíticos (ALMEIDA, 1983).

A interpretação geológica dessas feições estruturais resultou em proposta de configuração do Arco de Ponta Grossa dada, conforme a Figura 11, pelo Alinhamento Estrutural de Guapiara (limite setentrional), Alinhamentos Estruturais São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo (região central) e Alinhamento do Rio Piquiri (limite meridional) (FERREIRA, 1982a).

A associação de centros alcalinos e diques foram apontados por Almeida (1983) como integrante do Alinhamento Estrutural de Guapiara, sugestivo de estar condicionada a uma zona de distensão crustal orientada a NW, onde se deu a mobilização tanto de magmas alcalinos como toleíticos, no Cretáceo Inferior.

Neste contexto de tectonismo estão condicionados ao Lineamento Estrutural de Guapiara: as intrusões de Jacupiranga e Juquiá (relativas à primeira fase de reativação - Jurássico Superior e Cretáceo Inferior, pré-Aptiano) contemporâneas aos derrames basálticos e às manifestações subaflorantes do vulcanismo alcalino e alcalino-ultrabásico de Registro e Pariqüera-Açu, interpretadas por Ferreira & Algarte (1979), que definem anomalias aeromagnéticas.

Além de representar um reflexo da evolução ocorrida na área, o Lineamento de Guapiara é considerado o limite físico setentrional do Arco de Ponta Grossa e uma das principais fontes de extravasamento de lavas básicas da Bacia do Paraná (FERREIRA et al., 1981).

A continuidade do Lineamento Guapiara na Bacia do Paraná é representada pelo falhamento da Serra da Fartura (VIEIRA, 1973), caracterizado por grande diastrófismo. Como evidências da continuidade do Lineamento de Guapiara até a altura do rio Paraná, tem-se uma faixa tectônica orientada segunda NW, posicionada a sul de Aguapeí e relacionada ao Arco de Ponta Grossa.

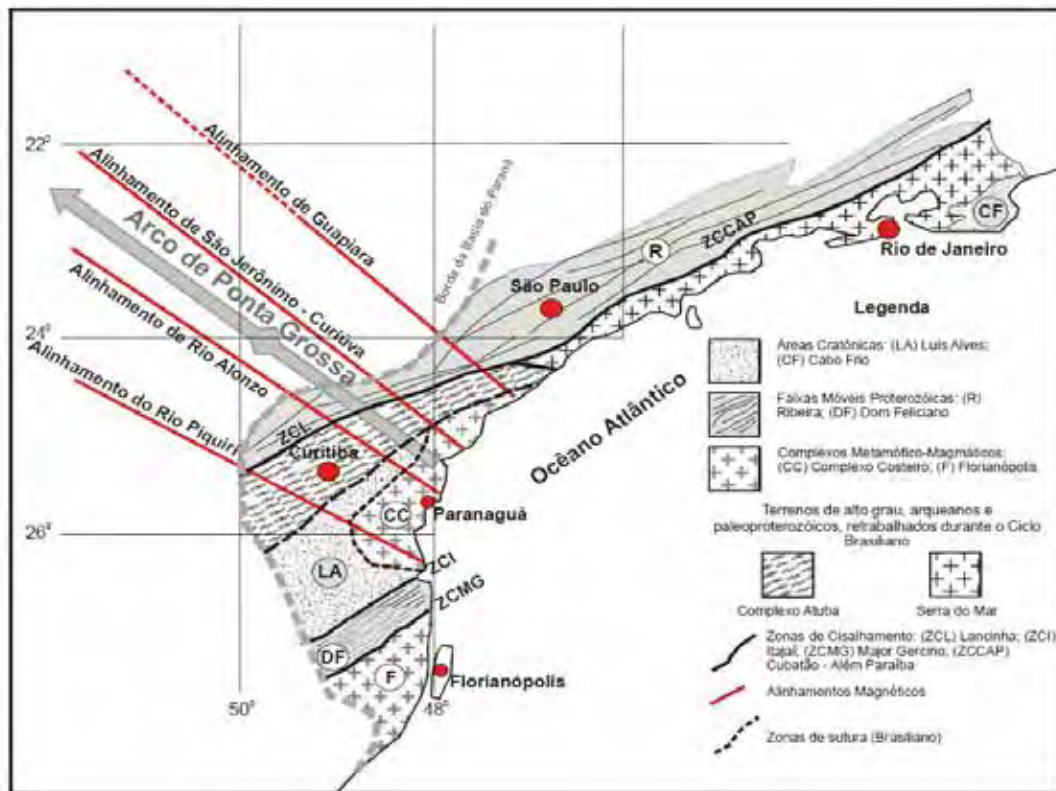


Figura 11. Localização do Lineamento Guapiara (MIO, 2005).

2.1.4.1 Evolução tectônica

O Lineamento Guapiara já se constituía em alto estrutural por ocasião da implantação da Bacia do Paraná no Devoniano, com a sedimentação do Grupo Paraná (Relatório IPT nº 14.091, 1980).

Schneider et al., (1974) consideram apenas o Arco de Campo Grande como uma estrutura positiva da Bacia do Paraná também no Devoniano. Porém, analisando a espessura da Formação Ponta Grossa, pode-se considerar a atuação do Lineamento Guapiara como uma estrutura positiva.

Por ocasião da deposição do Grupo Tubarão, no Permo-Carbonífero, o lineamento era tectonicamente ativo, controlando a sedimentação na Bacia do Paraná. Num outro momento, agora no Stephaniano e Permiano Superior, o Arco de Ponta Grossa manteve-se atuando positivamente afetando a sedimentação da Formação Palermo (Relatório IPT nº 14.091, 1980).

Durante o Permiano Superior até a metade do Mesozóico, a Bacia do Paraná passou por um período tectonicamente calmo. Na proposta de sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati) Gama Jr. (1979) mostra que no final do

Permiano Superior a área correspondente à continuidade NW do Arco de Ponta Grossa foi palco de grande subsidência.

Já no Triássico-Jurássico a individualização das Bacias Pirambóia e Rosário do Sul reflete o caráter positivo do Arco Ponta Grossa e do Lineamento Guapiara (Relatório IPT nº 14.091, 1980).

Entre o Permiano Médio e o fim do Paleozóico o Lineamento Guapiara foi um alto, sob forma de barreira geográfica, acarretando inversões de mergulho e assembléia de fósseis diferenciadas na região de Fatura (Fúlfaro et al., 1974).

De acordo com Almeida (1969), os efeitos da reativação Wealdeniana são evidentes ao longo do referido lineamento, quando já na primeira fase (entre o fim do Jurássico e o Cretáceo Inferior pré-aptiano), foi fonte de magmas básicos, favorecendo a injeção de diques de diabásio e alojando rochas alcalinas.

Asmus (1978) atesta que o magmatismo responsável pelos derrames basálticos tenha se estendido à margem continental contígua, como mostram as rochas dessa natureza datadas em torno de 120 Ma, além de magmatismo alcalino relacionado à segunda fase de reativação (80 Ma). Nesta concepção, a fase *rift* atinge simultaneamente o continente emerso e a margem continental (ASMUS, 1975).

Já no Cretáceo Superior, o lineamento foi ativo, sendo um dos condicionantes da sedimentação do Grupo Bauru, explicado “pelo levantamento das áreas marginais da bacia, Canastra ao Norte, Serrado Mar a Leste, Central Paraguaio a Oeste” (FULFARO et al, 1974).

2.2 QUADRO GEOFÍSICO DA ÁREA

Os trabalhos geofísicos referentes à área pesquisada se concentram nas proximidades dos lineamentos. Portanto, neste item, serão relatados alguns trabalhos geofísicos no Lineamento Guapiara subordinadamente ao seu contexto litológico/estrutural.

2.2.1 Gravimetria

Ferreira, 1982 a,b, estudando a gravimetria da região central do Arco de Ponta Grossa, caracterizou um alto gravimétrico, delimitado ao norte pelo

Alinhamento São Jerônimo-Curiúva e ao sul pelo Alinhamento do Rio Alonzo. Esta estrutura pode ser observada na Figura 12, a qual mostra o comportamento regional destas anomalias que qualitativamente assinala um alto gravimétrico orientado segundo NW-SE, correspondente ao *trend* de maior concentração de diques de diabásio, relacionado à região central do Arco de Ponta Grossa.

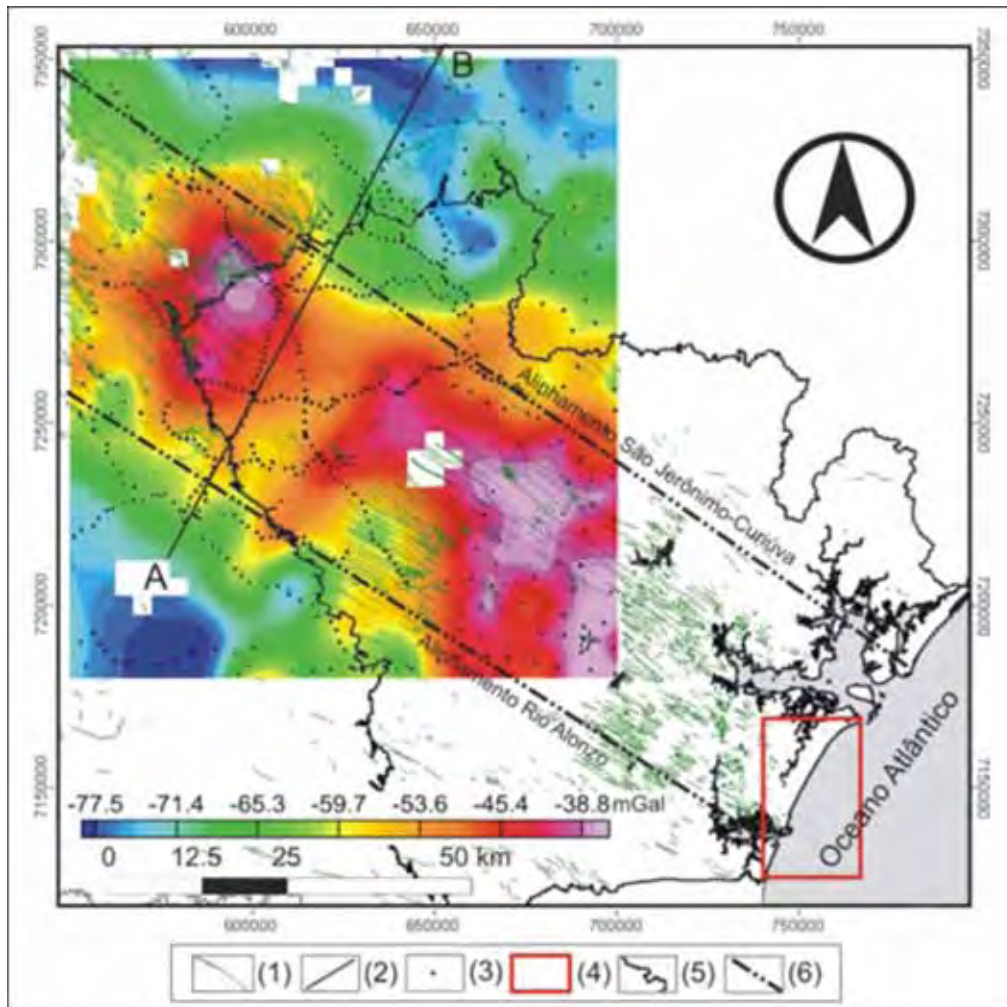


Figura 12. Mapa da região central do Arco de Ponta Grossa indicando o alto gravimétrico entre os lineamentos São-Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo. (1) diques; (2) perfil gravimétrico; (3) estações gravimétricas (IAG-USP); (4) área de estudo; (5) escudo paranaense; (6) lineamentos estruturais-magnéticos (CASTRO et al., 2008)

Ferreira et al. (1989 a,b) interpretaram um alto gravimétrico semelhante, na mesma direção, localizado na região do Lineamento de Guapiara (limite setentrional do Arco de Ponta Grossa), com um soerguimento do manto da ordem de 5 km, correspondente a um afinamento crustal de 14%, considerando a interface crosta-manto a uma profundidade de 35 km.

Rosales (2004) realizou um estudo na região Sul-Sudeste de Guapiara, onde fortes evidências gravimétricas identificaram uma feição anômala com características próprias muito bem definidas, interpretada como um "setor soerguido" da base da crosta superior, a uma profundidade aproximada de 12 km - 14 km com seu eixo orientado segundo N40°W, que foi denominada "Arco estrutural de Guapiara".

O valor médio da espessura da crosta continental para a região da Faixa de Apiaí foi estimado em 37 km. Fortes evidências gravimétricas indicam um gradual afinamento da crosta superior na direção SE (ROSALES, 2004).

2.2.2 Magnetometria

Por meio da interpretação das anomalias magnéticas obtidas em levantamentos aeromagnéticos da porção centro-oriental da Bacia do Paraná e, portanto, pequenas porções da área ocupada pelo Arco de Ponta Grossa, Ferreira et al. (1981) e Ferreira (1982) comprovaram a existência dos falhamentos no Arco de Ponta Grossa, já referidos por Vieira (1973) e Algarte (1972), denominando-os de Alinhamento de Guapiara, Alinhamento São Jerônimo-Curiúva e Alinhamento do Rio Alonzo.

A partir de mapas de campo magnético anômalo foi possível caracterizar o Lineamento Guapiara como uma série de anomalias de pequenos comprimentos de onda e grandes amplitudes, formando cristas e vales no relevo magnético atingindo dezenas de quilômetros de extensão. Essas assinaturas magnéticas são típicas de corpos tabulares delgados, de extensão semi-infinita, peculiares de corpos diqueformes (FERREIRA et al., 1981).

Os principais alinhamentos magnéticos exibem, de acordo com Ferreira (1982), alta frequência espacial e grandes amplitudes. No Alinhamento de Guapiara as anomalias com polaridade normal posicionam-se segundo N45-50W com ocorrências desenvolvidas em Itapeva, Ourinhos e Paulicéia, sendo melhor representada entre Itapeva e Assis; e outra com polaridade invertida, de direção geral N65°W, com expressões mais importantes desde Assis, passando por Regente Feijó e continuando pelo vale do rio Santo-Anastácio (FERREIRA, 1982).

As anomalias magnéticas profundas que coincidem com aquelas dos lineamentos do grupo com polaridade normal, aqui perfeitamente rastreável ao longo

dos 50 km de largura, define o que se caracterizou como Alinhamento Estrutural de Guapiara representado na Figura 13 (FERREIRA et al., 1981).

As anomalias nesta área seguem um padrão de polarização invertida devido à presença de magnetização remanescente. Tal fato foi verificado em amostras de basalto analisadas no Laboratório de Paleomagnetismo do Instituto Astronômico e Geofísico da USP, para a Paulipetro e em trabalhos anteriores (PACCA, 1980). O resultado constatou a ocorrência de eventos magnéticos ocorridos em épocas distintas, já que a remanência está relacionada à orientação do campo magnético presente durante a fase de cristalização/resfriamento dos magmas da seqüência basáltica (FERREIRA & FERRARI, 1980).

Ferreira (1982) comparou as anomalias aeromagnéticas dos levantamentos efetuados na Bacia do Paraná, cujos mapas recobrem pequenas porções do Arco de Ponta Grossa, com mapas geológicos existentes, onde geralmente os diques são assinalados com auxílio de fotos aéreas e imagens de satélite, e concluiu que as anomalias representavam diques. Os mapas aeromagnéticos apresentam anomalias com direções predominantes NW, inúmeras com direção NE e poucas E-W. Ferreira (1982) considerou menos expressivas as anomalias NE e E-W e associou somente aquelas com direções NW a diques.

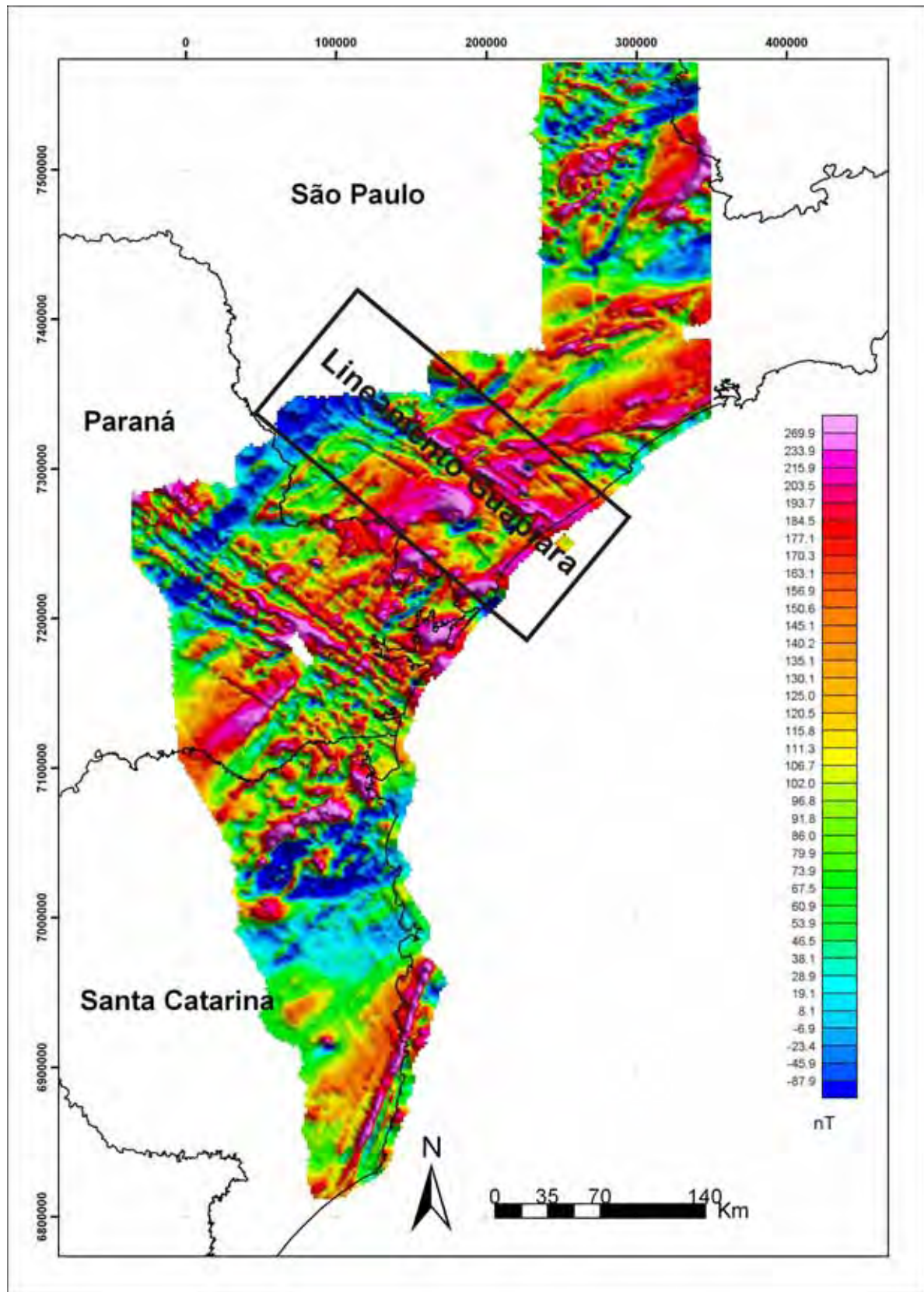


Figura 13. Mapa do campo magnético anômalo destacando a área do Lineamento Guapiara (Laboratório de Geomodelagem – UNESP Rio Claro-SP, Fonte de Dados: CPRM).

3 - GRAVIMETRIA E GPS DIFERENCIAL - FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 INTRODUÇÃO

A prospecção gravimétrica é fundamentada na obtenção de medidas das variações do campo gravitacional da Terra causadas por diferenças de densidade das rochas e/ou estruturas em profundidade. No caso da variação proveniente de unidades rochosas, essa anomalia é causada por rochas que apresentam densidades diferentes daquelas que às circundam acarretando uma perturbação local ou até mesmo regional.

A gravimetria pode ser empregada para identificar falhas, determinar a espessura dos sedimentos de uma bacia, com a finalidade de reconhecer a topografia de embasamento, além de ser amplamente utilizada na prospecção de minérios.

Em pequena escala, um relevo numa superfície de embasamento, como um vale em profundidade, pode gerar anomalias mensuráveis. Numa escala maior, pequenas anomalias negativas são associadas a domos de sal e as grandes à plútons graníticos ou bacias sedimentares. A interpretação de anomalias de gravidade permite uma avaliação da provável profundidade e forma da fonte e assim subsidia estudos em várias áreas das geociências, como estudos geotectônicos.

3.2 TEORIA BÁSICA DA GRAVIMETRIA

A base do levantamento gravimétrico é a Lei da Gravitação de Newton, a qual considera que duas massas esféricas m_1 e m_2 , com densidades uniformes em seus interiores atraem-se na razão direta de suas massas, porém inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros, resultando na força gravitacional (F) conforme a equação (1):

$$\vec{F} = \frac{G.m_1.m_2}{r^2} \vec{r}_1 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde m_1 e m_2 são as massas das esferas, r é a distância entre elas, F é a força de atração que age sobre cada uma das esferas, r_1 é o vetor unitário dirigido da massa m_1 para m_2 e G é a constante de gravitação universal ($6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2$ no sistema SI e $6,672 \times 10^{-8} \text{ dynas.cm}^2/\text{g}^2$ no cgs).

Considerando a Terra como sendo esférica, estática, homogênea, de massa M e raio R , uma massa m_2 (que pode ser a massa contida no gravímetro em superfície) irá movimentar-se em direção à primeira, devido à aceleração gravitacional terrestre (Equação 2):

$$\vec{F} = \frac{G.M}{R^2} .m_2 = mg \quad (\text{Eq. 2})$$

A força se relaciona com a massa por meio de uma aceleração, e o termo $g=GM/R^2$ é conhecido como aceleração gravitacional ou, simplesmente, gravidade.

A Terra teria gravidade constante se não tivesse a forma elipsoidal, sua rotação, o relevo irregular da superfície e a distribuição interna das massas fazendo com que a gravidade varie em sua superfície.

O campo gravitacional é definido de modo mais favorável em termos do potencial gravitacional (U) conforme a equação 3:

$$U = \frac{G.M}{r} \quad (\text{Eq. 3})$$

Outra maneira de se trabalhar com a heterogeneidade de densidade dos materiais que compõem o interior da Terra, conforme esquematizado na Figura 14, e as massas dispersas em grandes volumes e dimensões, é dividi-la em elementos infinitesimais (dM) e somar o efeito de cada um conforme a Equação 4:

$$g = G \int_v \frac{dM}{R^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

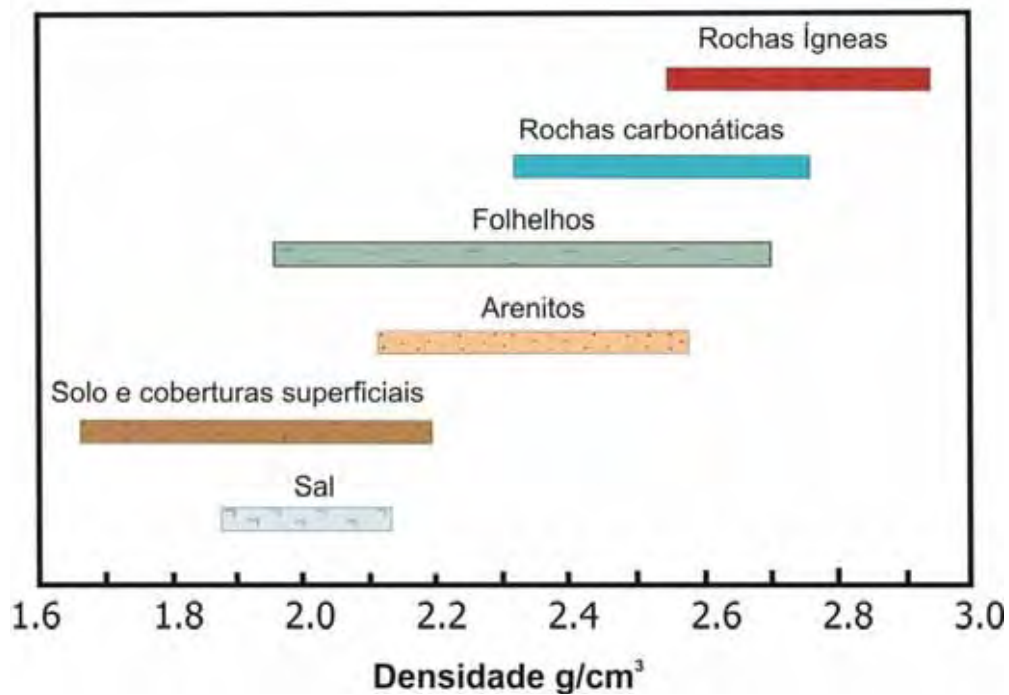


Figura 14. Densidades aproximadas em diferentes materiais (Adaptado de SHERIFF, 1989).

Devido ao movimento de rotação que a Terra faz em torno do seu próprio eixo num período de 24 horas, qualquer ponto localizado seja em seu interior ou em superfície irá sofrer o efeito da aceleração centrífuga (Figura 15), expressa por (Equação 5):

$$a_c = \omega^2 . I \quad (\text{Eq. 5})$$

onde I é o raio de rotação e w é a velocidade angular.

A aceleração gravitacional é orientada para o centro da Terra enquanto que a aceleração centrífuga é perpendicular ao eixo de rotação da mesma. Portanto a soma vetorial dessas acelerações tem como resultante a gravidade (ou aceleração da gravidade), cuja intensidade é dada por (Equação 6):

$$g = G \int \frac{dM}{r^2} - w^2 l \cos \phi \quad (\text{Eq. 6})$$

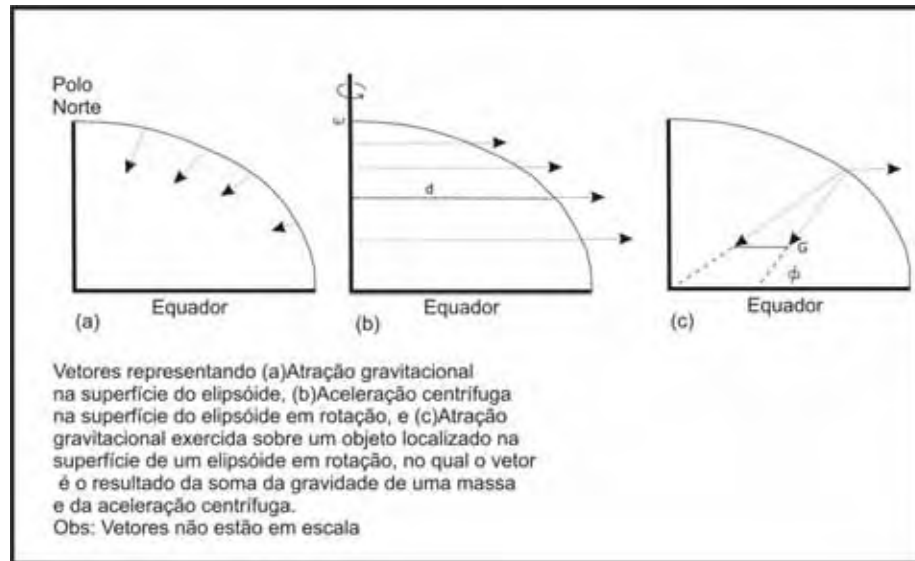


Figura 15. Representação esquemática dos efeitos da rotação da Terra e respectivos vetores (ROBINSON & ÇORUH, 1988).

Teoricamente assume-se que a atração ao longo da superfície da Terra é em torno de 980 Galileu, ou seja, 980.000 mGal. Os fatores de correções e as distribuições das massas que influenciam no campo gravitacional estão resumidos na Figura 16.

Foi estabelecida pela União Internacional de Geodésia e Gravimetria, e adotada em 1971, uma equação teórica (Eq. 7) para a atração gravitacional na superfície de um modelo de referência idealizado.

$$g = g_e \cdot (1 + C_1 \cdot \text{sen}^2 \varphi - C_2 \cdot \text{sen}^2 2\varphi) \quad (\text{Eq. 7})$$

onde: φ é a latitude, $g_e = 978.031,846$ mGal, $C_1 = 0,005278895$ e $C_2 = 0,000023462$.

O valor de g_e define a aceleração normal da gravidade em mGal, na superfície de referência, que depende do raio equatorial, do coeficiente de achatamento ω e da massa da Terra, supondo então que a superfície do elipsóide seja equipotencial.

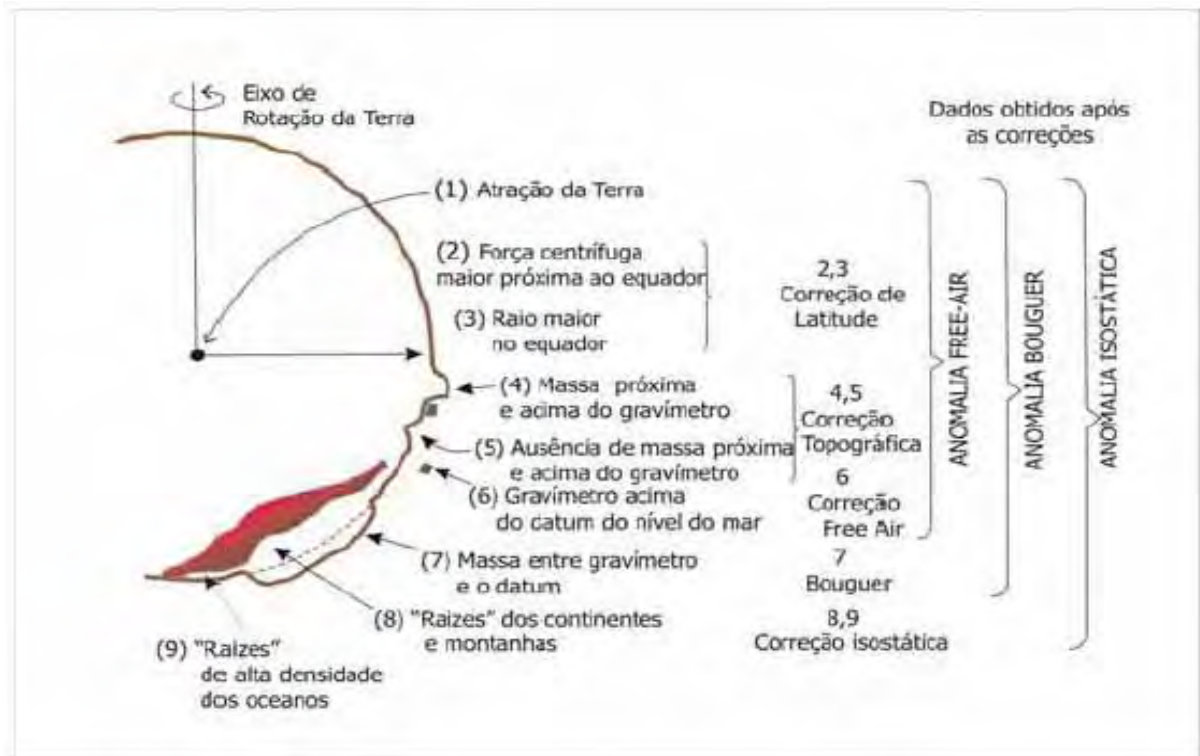


Figura 16. Parâmetros envolvidos na obtenção de dados gravimétricos e suas posteriores correções (modificado de SHERIFF, 1989).

Como a Terra não é uma esfera perfeita e homogênea, a aceleração gravitacional não é constante ao longo de toda sua superfície. A magnitude de uma medida gravimétrica depende de cinco fatores principais: latitude, elevação (altitude relativa ao nível do mar), relevo (ou topografia) do entorno da estação gravimétrica, marés terrestres e variações de densidade em superfície.

Para isolar o efeito da densidade em superfície, que é muito menor que as variações provocadas pelos efeitos de latitude e de altitude, é necessário reduzir os dados. A variação da aceleração gravitacional de áreas equatoriais para polares é de aproximadamente 5 Gal ou seja, em torno de 0,5% do valor total de g (980 Gal). Por isso é necessário remover-se esses efeitos através da correção e redução dos dados levantados em campo, conforme estabelecido no item 3.4.

3.3 MEDIÇÕES DA GRAVIDADE

A unidade usualmente empregada em Geofísica para a medição da aceleração da gravidade é o Gal, em homenagem a Galileu, a qual equivale a 1 cm/s^2 . Efetivamente são utilizados os submúltiplos miligal e microgal, devido a variações muito pequenas das anomalias.

As medições de valores relativos de gravidade constituem o procedimento padrão nos levantamentos gravimétricos. Os valores de gravidade absoluta das estações de medições podem ser obtidos por meio de redes como a Rede Internacional de Padronização da Gravidade (*International Gravity Standardisation Network – IGSN*) de 1971 (MORELLI et al. 1974); a Rede Gravimétrica do Estado de São Paulo, referenciada à primeira e implantada em 1977 pelo Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo e a RGFB (Rede Gravimétrica Fundamental do Brasil) sob o planejamento e coordenação do Observatório Nacional, esta última, adotada neste estudo.

O valor absoluto de gravidade de um local qualquer pode ser determinado usando-se um instrumento de leitura relativa, no caso o gravímetro, para determinar a diferença de gravidade entre uma estação IGSN e aquele local.

Neste trabalho foi utilizado um gravímetro relativo analógico de marca LaCoste e Romberg constituído de um sistema massa-mola (Figura 17), que permite avaliar a aceleração da gravidade em um ponto.

As leituras neste tipo de gravímetro são dadas em unidades instrumentais, que equivalem a um determinado número de contagens dadas pelo passo do parafuso de medida. Isso corresponde ao movimento realizado pelo parafuso de medida para, após a mola ter-se deformado com a ação da força da gravidade, retorná-la a sua posição original (LUIZ & SILVA 1995).

A força aplicada pelo equipamento deve corresponder à mesma força de gravidade que provocou a deformação da mola. Então, esta quantidade de força, medida através do número de contagens, é transformada em valores de gravidade segundo uma tabela de calibração fornecida pelo fabricante junto com o equipamento. Por construção, cada gravímetro possui sua própria tabela, que relaciona as unidades instrumentais com valores de gravidade em miligals (LUIZ & SILVA 1995).

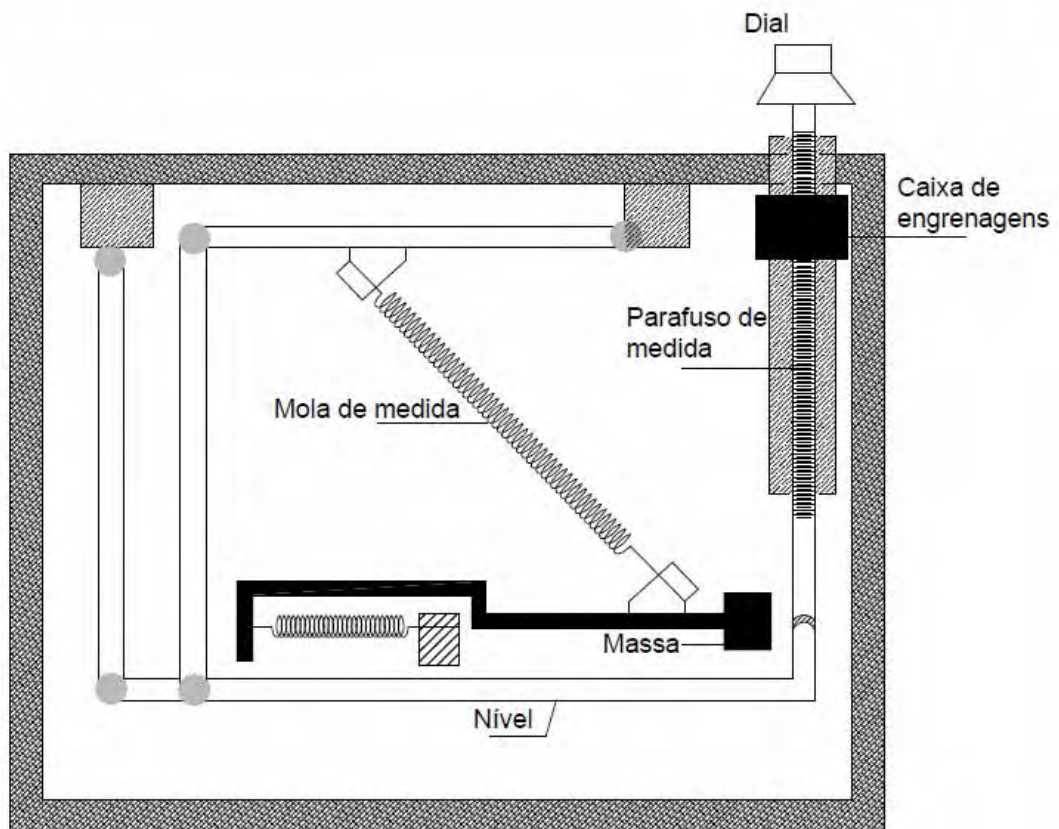


Figura 17. Esquema de um sistema massa-mola (LUIZ & SILVA 1995).

Um problema relacionado ao funcionamento dos gravímetros é o fenômeno de deriva (*drift*). Ele se refere a uma gradual mudança na leitura, resultado da elasticidade imperfeita das molas, que sofrem uma pequena deformação anelástica com o tempo. Pode também, estar associado à variação de temperatura, que causa expansão ou contração no sistema de medição, gerando, no entanto, falsas medidas de gravidade (LUIZ & SILVA 1995).

A deriva instrumental pode ser monitorada por repetidas leituras do medidor numa posição fixa ao longo do dia, ou então amenizada no processamento dos dados, com a utilização de software, quando há utilização do método de linha gravimétrica fechada, conforme realizado neste trabalho, a ser explicado no Capítulo 4.

3.4 TRATAMENTOS DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS

Antes que os resultados de um levantamento gravimétrico possam ser interpretados, é necessário corrigir os fatores que porventura possam influenciar no

campo gravitacional da Terra, removendo as variações que não resultam de diferenças nas densidades dos materiais em subsuperfície.

De modo geral, a magnitude de uma medida gravimétrica sofre influência da latitude, altitude, topografia ao redor da estação, marés terrestres e variação de densidade em superfície. Para mitigar o efeito desses fatores é necessário realizar uma série de correções, utilizando o nível do mar como *datum* para a redução gravimétrica (redução ao geóide).

3.4.1 Correção de deriva (C_D)

Segundo Sá (1994) a deriva instrumental é a composição das derivas estática e dinâmica ocorridas no percurso, conforme a Equação 8:

$$D = D_e + D_d \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde D_e é a deriva estática e D_d a deriva dinâmica. A deriva estática de uma linha gravimétrica representa a soma das variações ocorridas nas interrupções da linha, geralmente com duração maior que uma hora (Equação 9).

$$D_e = \sum (L_i - L_{i+1}) \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde m é o número de interrupções da linha e L_1 é a leitura média em mGal corrigida da perturbação luni – solar, nas n estações da linha (SÁ, 1994). O tempo correspondente à deriva estática é expresso pela Equação 10:

$$T_e = \sum_{k=1}^m (T_{i+1} - T_i) \quad (\text{Eq. 10})$$

A deriva dinâmica D_d corresponde à variação ocorrida no período em que o gravímetro permaneceu em movimento, que equivale ao tempo decorrido entre a primeira e a última leitura da linha, menos o tempo da deriva estática (Equação 11, sendo:

$$D_d = \frac{L_1 - L_n}{t_d}$$

(Eq. 11)

Onde L_1 e L_n é a primeira e última leitura respectivamente, corrigidas da perturbação luni-solar e da deriva estática, e t_d é o tempo da deriva dinâmica, dado pela Equação 12:

$$t_d = t_n - t_1 - t_e$$

(Eq. 12)

Onde t_1 e t_n são os instantes da primeira leitura e da última leitura respectivamente e t_e é o tempo da deriva estática. Portanto, a correção da deriva para a i -ésima estação tem a forma (Equação 13):

$$D_i = (D_e)_i + (D_d)t_i$$

(Eq. 13)

Onde t_i é o tempo decorrido entre a primeira e a i -ésima leituras.

3.4.2 Correção de latitude (C_L)

A gravidade varia com a latitude, devido à forma não esférica da Terra e pelo fato de a velocidade angular de um ponto sobre a superfície diminuir a partir de um máximo no equador até zero nos pólos. A aceleração centrípeta gerada pela rotação tem uma componente radial negativa, que causa uma diminuição da gravidade dos pólos para o equador. Portanto a correção da latitude (Equação 14) é necessária devido à gravidade ser distinta no equador e nos pólos (SÁ, 1994).

$$C_L = 0,811 \text{sen } 2\phi \text{ mGal/km}$$

(Eq. 14)

Onde ϕ representa a latitude da estação gravimétrica usada.

3.4.3 Correção de maré ou luni-solar

A gravidade sofre pequenas variações temporais em magnitude e em direção, geradas pela ação combinada dos outros astros, em particular, da Lua e do Sol. Estes efeitos podem ser diretos, que provêm da atração que cada um destes corpos exerce, ou indiretos, que têm por origem a deformação elástica induzida na Terra (SÁ, 1994).

A conjugação destes efeitos denomina-se maré terrestre, por semelhança com o fenômeno similar das marés oceânicas. Para a Terra sólida e rígida, o potencial de maré P da superfície terrestre, gerado pelo astro perturbador Lua (Figura 18) é expresso pelo potencial diferencial desse ponto com o geocentro (SÁ, 1994).

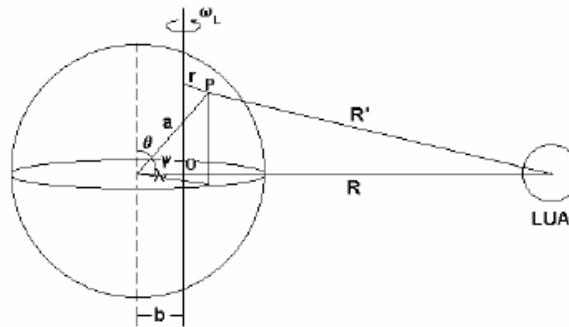


Figura 18. Perturbação Luni-Solar (SÁ, 1994).

3.4.4 Correção Ar-Livre (C_{AL})

Correção da redução na gravidade devido à altura sobre o Geóide, independente das rochas existentes abaixo. A correção do ar livre é a diferença entre a gravidade medida ao nível do mar e em uma elevação, “h”, no espaço livre (Equação 15).

$$C_{AL} = 0,3086h \text{ (em Mgal)}$$

(Eq. 15)

3.4.5 Correção Bouguer (C_B)

Esta correção é feita levando-se em conta a atração gravitacional exercida em determinado ponto da crosta, entre a estação da medida gravimétrica e o nível do

mar. Consiste em adicionar, ao valor normal da gravidade, a atração de um cilindro de raio infinito e altura igual à altitude da estação no terreno. O cilindro deve ter densidade igual à do material que está entre o geóide e a estação (distribuições anômalas de densidade devem ser evitadas; Luiz & Silva 1995).

A correção Bouguer é dada por (Equação 16):

$$C_B = 0,04192\rho h \text{ (mGal)} \quad \text{(Eq. 16)}$$

onde h = altitude da estação e ρ é a densidade em g/cm^3 .

3.4.6 Correção topográfica (C_T)

Esta correção é somente considerada em alguns casos de região com topografia muito acidentada. Após a aplicação das correções ar-livre e Bouguer, o nível da estação de leitura é elevado até o terreno e o vazio entre o geóide (estação-referência) e o nível é, então, preenchido com a massa de uma placa infinita. No entanto, a correção Bouguer adiciona automaticamente massas aos baixos topográficos em torno da estação de leitura e não considera que as massas fisicamente existentes acima desta reduzem a gravidade neste ponto, já que a placa tem espessura constante. Sendo assim, é necessário compensar esses efeitos da atração gravitacional da cunha aplicando fatores de correção que levam em conta a topografia da região.

A correção topográfica é efetuada somente em casos de acentuadas elevações presentes na área de estudo ou mesmo grandes depressões ou vales próximos à estação que se efetua a leitura gravimétrica. No presente trabalho, tal correção foi desprezada, pois a topografia do terreno apresenta um relevo suave e o valor desta correção seria inferior à incerteza das anomalias gravimétricas.

3.5 GPS (*GLOBAL POSITIONING SYSTEM*) DIFERENCIAL

Na execução de um levantamento gravimétrico, a precisão da leitura no gravímetro e no posicionamento das estações (coordenadas X, Y e Z) são de extrema importância para a qualidade e exatidão dos valores a serem calculados, como a gravidade absoluta, a anomalia *free – air* e a anomalia Bouguer. O receptor

GPS Diferencial usado nesta pesquisa, possui a capacidade de calcular posições muito precisas a cada segundo. Depois dos dados processados e corrigidos, a precisão horizontal e vertical de cada posição pode chegar a valores sub-métricos, fator este que contribui para qualidade da aquisição das estações gravimétricas.

Neste trabalho, cada coleta realizada na campanha de campo foi localizada por meio do sistema DGPS da Trimble modelo Pathfinder – Pro XR⁽²⁾ (receptor de alto desempenho), e as coordenadas horizontais X e Y e altimétricas obtidas, recalculadas pelo procedimento de pós-processamento diferencial.

Para a correção diferencial das coordenadas empregou-se o software GPS Pathfinder Office o qual possui rotinas necessárias para gerenciar um projeto de coleta, que possibilita além da correção, a edição e a visualização dos dados adquiridos no campo.

3.5.1 Principais Características do DGPS

O DGPS (*Differential Global Positioning System*) se comunica, via ondas eletromagnéticas, com uma rede de satélites NAVSTAR (*Navigation Satellite Time and Ranging*) controlados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos onde mais de 24 satélites orbitam ao redor da Terra a cada 12 horas fornecendo informações para todo o mundo, sob qualquer condição de tempo, 24 horas por dia.

A técnica DGPS requer pelo ou menos dois receptores, sendo um a estação base e outro denominado móvel (*rover*). O primeiro consiste num ponto com coordenadas conhecidas cuja finalidade é definir, através de cálculos, o erro do GPS e o segundo é usado em campo para obtenção rápida das posições desconhecidas dentro da zona de abrangência da estação base.

Os erros comuns dos receptores se corrigem durante o pós-processamento, sendo assim a estação base necessitará dos valores de correção do banco de dados disponível comercialmente via Internet pela empresa Santiago & Cintra, somente para aqueles que possuem o equipamento.

⁽²⁾ Todas as informações técnicas ou funcionais deste sistema foram retiradas do próprio manual de instruções do aparelho.

3.5.1.1 Fatores que podem acarretar limitações na aquisição

O fator mais agravante para a qualidade dos resultados são os sinais diferenciais de satélite que estejam eventualmente na linha do horizonte, que podem ser bloqueados por montanhas, edifícios ou copas de árvores que, quando molhadas, reduzem ainda mais o sinal. Interferência de transmissores de radar ou de microondas (antrópicos) e fios elétricos geralmente não produzem nenhum efeito degradante de sinal.

3.5.1.2 Fatores que influenciam na precisão com dados pós-processados

✓ Número de satélites visíveis

Para uma boa precisão no posicionamento requer-se pelo menos quatro satélites para o cálculo da posição, porém se houver cinco ou mais, a exatidão pode aumentar.

✓ Distância entre a estação de base e o receptor *rover*

A exatidão da correção diferencial se degrada quando a distância entre a estação base e o *rover* aumenta. De acordo com as especificações do aparelho esta degradação é de 1 ppm, isso significa 1 mm de degradação para cada quilômetro entre a base e o *rover*.

✓ Diluição da Precisão da Posição (PDOP)

É uma medida da geometria atual do satélite, que sugere quando são fornecidos os dados mais precisos. Se os satélites estiverem espalhados no céu o valor do PDOP é baixo e a posição mais precisa, caso contrário, com os satélites mais agrupados ocorre uma degradação na exatidão do posicionamento. Pode-se configurar o limite de PDOP no registrador de dados para assegurar que somente dados da exatidão requerida sejam coletados.

Se a PDOP excede o limite configurado, o registrador de dados pára de registrar posições. O limite de PDOP recomendado é quatro no caso de um GPS Pathfinder Pro XR, se é desejada uma exatidão de menos de um metro.

✓ Relação sinal/ruído (SNR)

Razão sinal/ruído - *Signal to Noise Ratio* (SNR) é uma medida da intensidade do sinal do satélite relativa ao ruído de fundo. A exatidão se degrada à medida que a intensidade do sinal diminui, portanto um sinal forte com baixo ruído fornece melhor

precisão. É possível configurar o limite SNR no registrador de dados para armazenar somente posições acima de certo valor SNR, cujo limite recomendado pelas instruções do aparelho é quatro.

✓ Elevações do satélite

Quando um satélite está baixo no horizonte, os sinais deste devem percorrer uma distância maior através da atmosfera, resultando em uma intensidade de sinal mais baixa e recepção retardada pelo receptor GPS. Satélites de baixa elevação tendem a produzir dados ruidosos, no entanto devem ser utilizados somente aqueles que estão pelo menos a 15º acima do horizonte. Pode-se configurar a elevação no registrador de dados para ignorar os que estejam baixos no céu.

✓ Período de ocupação

O receptor usado nesse estudo fornece, segundo dados do fabricante, a precisão horizontal especificada com um tempo de ocupação de 1 minuto.

4 – COLETA, REDUÇÃO, ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Para a quantificação da variação do campo gravitacional foi realizada uma campanha de campo com a finalidade de adensar os dados gravimétricos, através de uma distribuição semi-regular das estações, percorrendo uma rodovia que secciona perpendicularmente os diques de diabásio do Lineamento Guapiara.

As estações de leitura foram espaçadas a cada quilômetro, preferencialmente em pontos da rodovia SP-250 (Rodovia Sebastião Ferraz de Camargo Penteado) que liga as cidades de Capão Bonito e Apiaí, ambas no Estado de São Paulo.

Alguns dados pré-existentes também foram utilizados neste trabalho. São estações coletadas em todo o Estado de São Paulo que compõem a Carta Gravimétrica do estado referido. Foi elaborada a partir de levantamentos realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) em convênio com o Instituto Astronômico e Geofísico da USP para o Pró-Minério.

Contudo, neste capítulo serão mencionadas as etapas de reduções, análises e processamentos dos dados adquiridos em campo, tanto os de posicionamento quanto aqueles referentes à gravimetria.

4.2 POSICIONAMENTO EXECUTADO POR GPS DIFERENCIAL

Como já referido anteriormente, é de extrema importância para a elaboração dos mapas de anomalias gravimétricas a precisão na coleta das coordenadas, para

isso, a técnica GPS Diferencial foi empregada neste trabalho. No caso deste trabalho, o qual procura determinar estruturas em larga escala é suficiente definir a altitude das estações com precisão de 0,5 a 1,0 metro (erros de 0,1 a 0,3 mGal).

A aquisição dos dados de posicionamento foi feita simultaneamente ao levantamento gravimétrico (Foto 1) e todos os cuidados anteriormente citados no capítulo 3 foram tomados para se obter o resultado desejado.

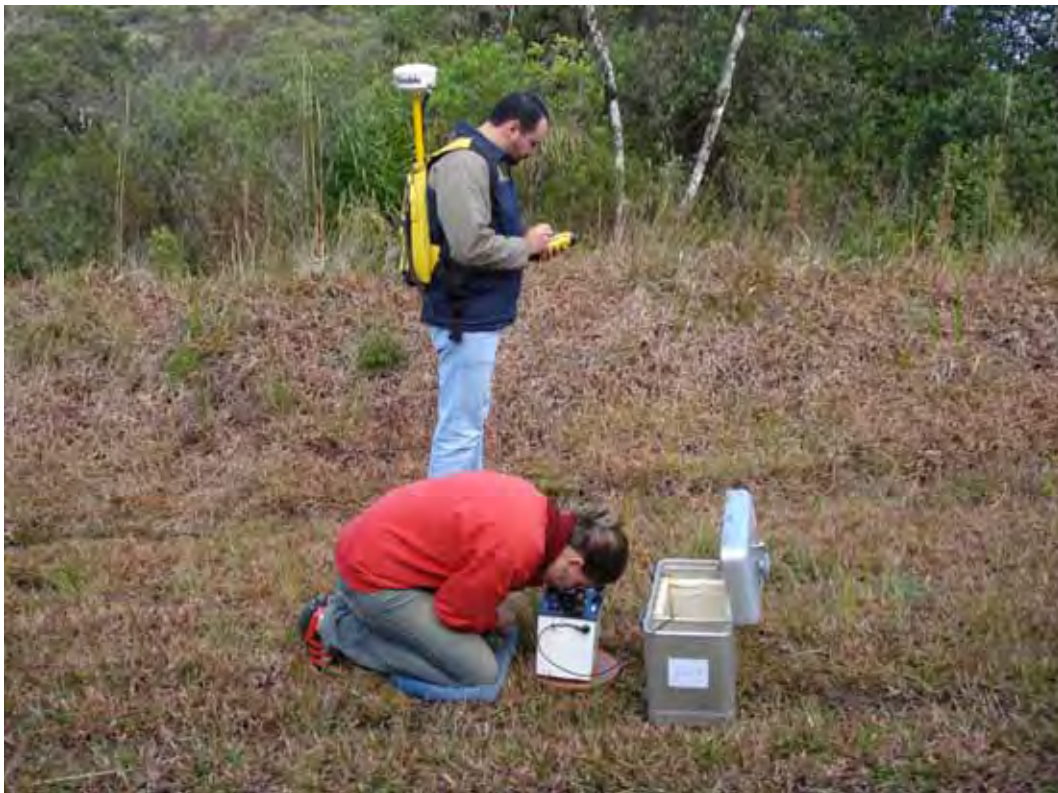


Foto 1. Levantamento gravimétrico e coleta do posicionamento (DGPS).

A estação base de referência escolhida para a correção diferencial fica localizada em Curitiba – PR, e suas características são:

Datum	Longitude	Latitude	Altitude
WGS-84	49°20'26,33174" W	25°26'00,30697" S	952,840 m

✓ Receptor TRS TRIMBLE de 12 canais; L1 apenas; SNR *Mask* 4; *Elevation Mask* 10; PDOP *Mask* 8; PDOP *Switch* 8;

✓ Horário Universal de Greenwich. Três (3) horas a mais do que a hora local da região Sul/Sudeste do Brasil, exceto em horário de verão;

- ✓ Altura da Antena: 1,365 m;
- ✓ Antena: *Compact L1* com Plano de Terra;
- ✓ O ponto foi ajustado através da Rede Geodésica da SEMA/IBGE;
- ✓ Dados disponíveis no formato, SSF, “zipados” no formato .EXE autoexpansível;
- ✓ Taxa de Gravação: 05 segundos (Código C/A + fase L1);
- ✓ Arquivos de 1 hora de rastreo, com a seguinte nomenclatura: TYMMDDHH.SSF onde, T significa que trata-se de um arquivo estação base de Curitiba - PR; Y é o último dígito do ano corrente; MM o mês corrente; DD o dia corrente e HH a hora do dia.

Exemplo: T8030610.SSF é um arquivo contendo 1 hora de observações iniciadas às 10:00 da manhã (horário de Greenwich) do dia 06 de março de 2008. O programa gera 1 arquivo a cada hora. O tamanho médio dos arquivos compactados (.EXE) é de 200K.

Estas estações denominadas de base ou de referência fazem parte de uma rede nacional de estações (Figura 19) monitoradas e disponibilizadas via Internet pela Empresa Santiago e Cintra - fornecedora do equipamento - a partir de um *login* e senha fornecidos pela empresa ao usuário.

4.2.1 Pós-Processamento dos Dados de Posicionamento

O equipamento utilizado para a coleta do posicionamento consiste basicamente de receptores GPS de alto desempenho e podem ser operados com um sistema ou programa controlador, que possibilita uma eficaz coleta de dados durante o levantamento em campo e uma posterior manutenção e integração dos dados por meio de um sistema SIG (Sistema de Informação Geográfica).

No entanto, para a correção diferencial das coordenadas utilizou-se o software GPS *Pathfinder Office*, cujas rotinas permitem transferir os dados do coletor para um computador onde são corrigidos, editados e visualizados.

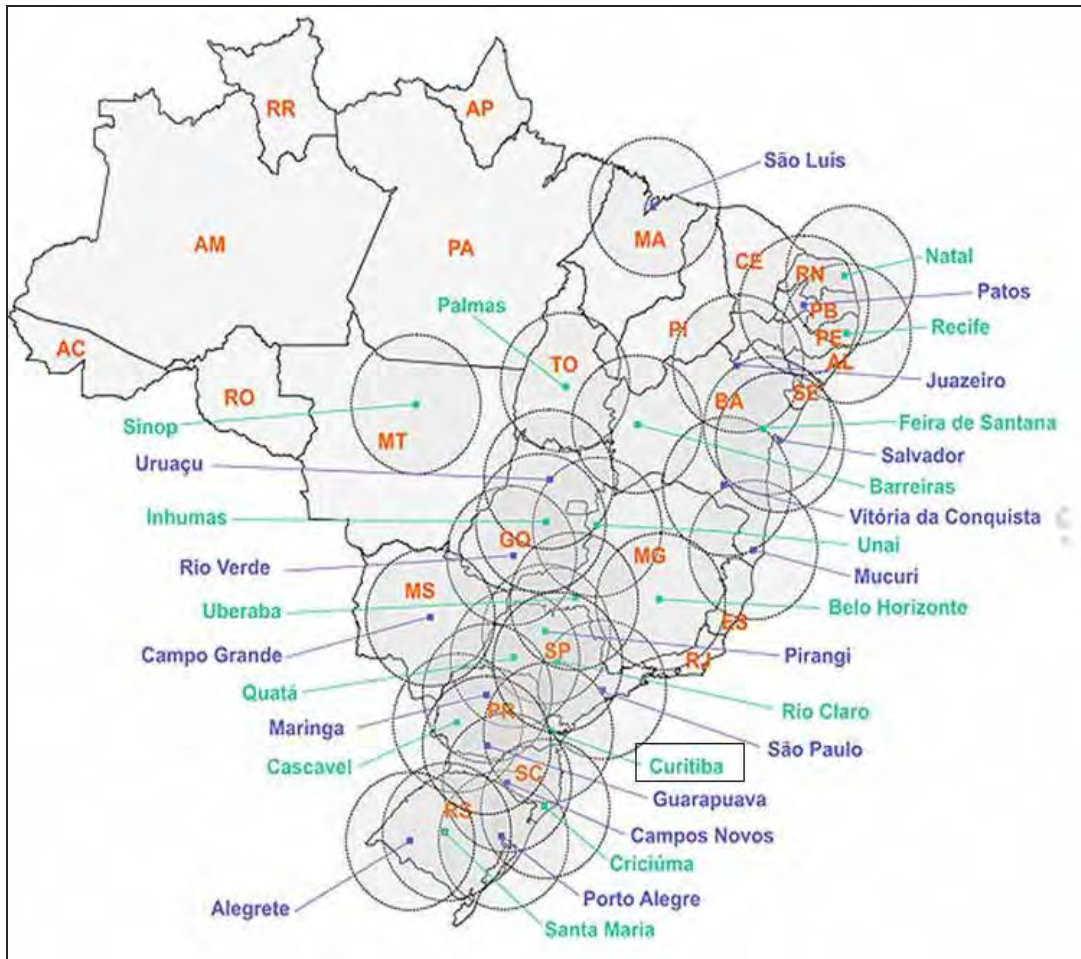


Figura 19. Rede de estações de referência no Brasil da Santiago & Cintra.

Para se chegar ao dado pós-processado, algumas etapas foram executadas, tais como:

- 1-) Transferência dos dados do coletor para o computador;
- 2-) Início da correção diferencial;
- 3-) Seleção dos arquivos *rover* ;
- 4-) Seleção dos arquivos base;
- 5-) Confirmação dos arquivos de base selecionados;
- 6-) Especificação da posição de referência;
- 7-) Confirmação dos ajustes da posição de referência;
- 8-) Geração de arquivos corrigidos;
- 9-) Diagnósticos de problemas;
- 10-) Saída dos dados corrigidos em forma de planilhas.

4.3 CAMPANHA GRAVIMÉTRICA

Como os dados disponíveis não eram suficientemente densos para se fazer uma modelagem gravimétrica de detalhe, foi necessária a etapa de campo para o levantamento dos dados gravimétricos brutos em conjunto com a aquisição da posição geográfica, por meio do gravímetro e GPS Diferencial.

Para o adensamento da malha de amostragem aonde foi feito o perfil gravimétrico, foram implantadas 94 novas estações gravimétricas localadas a cada quilômetro. A distância entre elas foi definida de acordo com o nível de detalhe do corpo que se pretendia modelar. Quanto maior o nível de detalhe desejado, menor o espaçamento utilizado. O mapa de pontos mostrado na Figura 20 ilustra todas as estações gravimétricas, tanto aquelas pré-existentes, quanto as adquiridas em trabalho de campo.

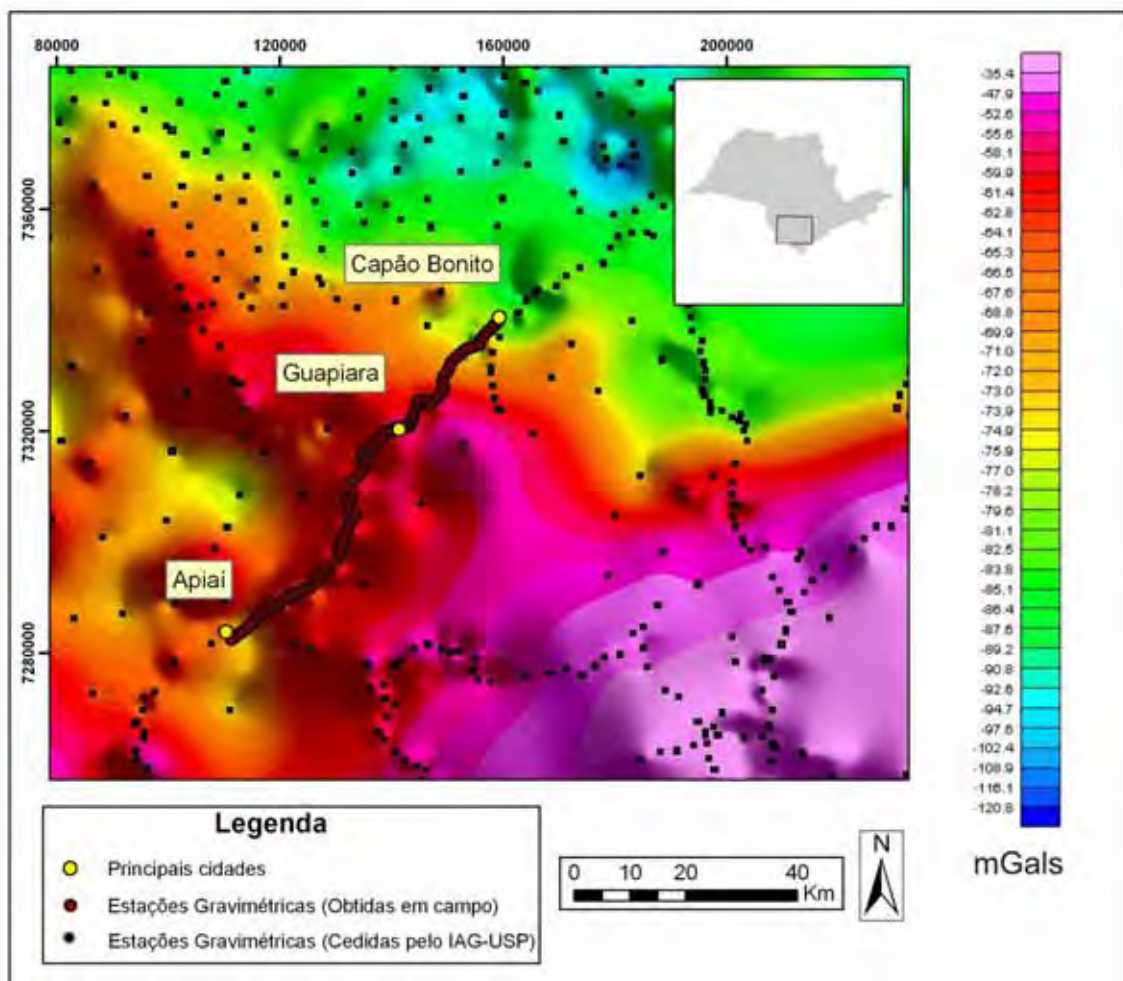


Figura 20 – Mapa de localização das estações gravimétricas obtidas em campo em conjuntos com aquelas cedidas pelo IAG – USP (Galli et al. 1988).

A leitura gravimétrica (combinação do contador e do *dial* – Foto 2) foi feita no próprio gravímetro (com precisão de 0,01 mGal), que é colocado sobre um suporte que facilita seu nivelamento, e durante o levantamento gravimétrico, para cada estação foram registradas a posição, o tempo, a elevação e a leitura do gravímetro (Conforme ANEXO 1).



Foto 2. Gravímetro LaCoste & Romberg, utilizado no levantamento gravimétrico.

O trabalho foi baseado no método de linha gravimétrica fechada (Figura 21), que consiste numa poligonal que se obtém com a ligação sucessiva das estações gravimétricas implantadas entre as estações base. Este sistema visa corrigir a deriva que o instrumento sofre durante o período da aquisição. Sendo assim, o gravímetro é aferido em locais cuja gravidade é conhecida (base), antes e depois de efetuado o trabalho.

Antes do início do levantamento foi escolhida uma estação base que serviu como referência para as outras medidas da área. A estação base usada para a aquisição, foi a estação de referência pertencente à rede gravimétrica secundária do Estado de São Paulo implantada pelo Instituto Astronômico e Geofísico IAG/USP da Universidade de São Paulo, no ano de 1977. Fica localizada na soleira da Igreja

Matriz no lado esquerdo de quem entra pela porta principal, no ângulo formado entre a porta e a parede, na Cidade Capão Bonito - SP (Foto 3). Esta estação possui as seguintes referências de localização (em coordenadas geográficas – ANEXO 2):

- a-) Número da estação: 121482
- b-) Latitude: $24^{\circ}00'21''$ S
- c-) Longitude: $48^{\circ}20'58''$ W
- d-) Altitude: 705,88 m
- e-) Gravidade absoluta: 978836,79 mGal

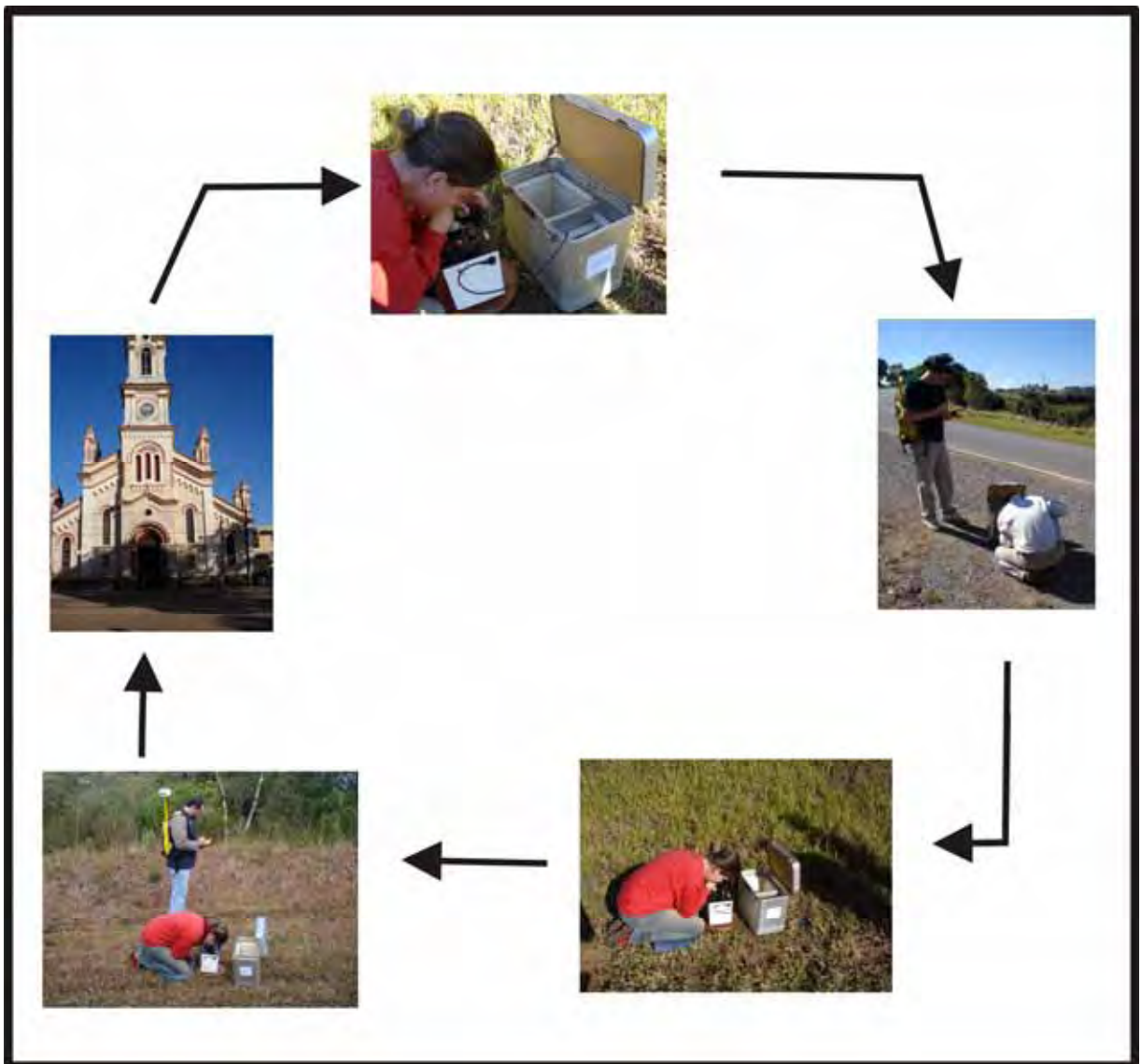


Figura 21. Esquema de abertura e fechamento de base (*Loop*) na aquisição de dados gravimétricos. A Igreja ilustra a base e as demais fotos as estações gravimétricas.



Foto 3. Estação base gravimétrica nomeada de Capão Bonito “B”.

4.4 - REDUÇÕES DOS DADOS

As reduções gravimétricas consistem na melhoria do sinal pela retirada do ruído previsível (SIMPSON & JACHENS, 1989). As correções que são aplicadas aos dados gravimétricos procuram retirar os efeitos da latitude, elevação, deriva instrumental e efeito de marés, conforme já mencionado no item 3.4 do Capítulo 3. As anomalias que permanecem após a retirada dos efeitos citados anteriormente possuem duas naturezas distintas: (1) podem ser derivadas da distribuição de densidades no interior da Terra, ou (2) representar imperfeições nos modelos de representação da Terra.

Na redução dos dados de gravimetria obtidos em campo, foram utilizadas as rotinas próprias da plataforma OASIS MONTAJ da Geosoft *Inc.*, a qual permite a redução e cálculo dos valores da anomalia Bouguer, além da geração de um *grid* para elaboração do mapa e posterior processamento e refinamento, se necessário. Este programa foi desenvolvido para uso em geociências, e proporciona um gerenciamento dos projetos nele inserido, podendo além de administrar, processar, mapear, interpretar e fazer análise de qualidade dos dados.

O programa exige um rígido procedimento quanto à inserção dos dados para a correção (dia/mês/ano, hora, X, Y, Z e leitura no *dial*) em formato texto (txt) que deve ser incorporado ao Geosoft. As correções foram realizadas no módulo *Gravity* e ao final do processamento foi gerado um banco de dados com colunas contendo os valores das anomalias Bouguer.

Os dados reduzidos e tratados (conforme Figura 22) foram compilados aos dados já existentes, cedidos pelo IAG-USP, referentes ao trabalho de Galli et al. (1988) – Carta Gravimétrica do Estado de São Paulo (IPT).

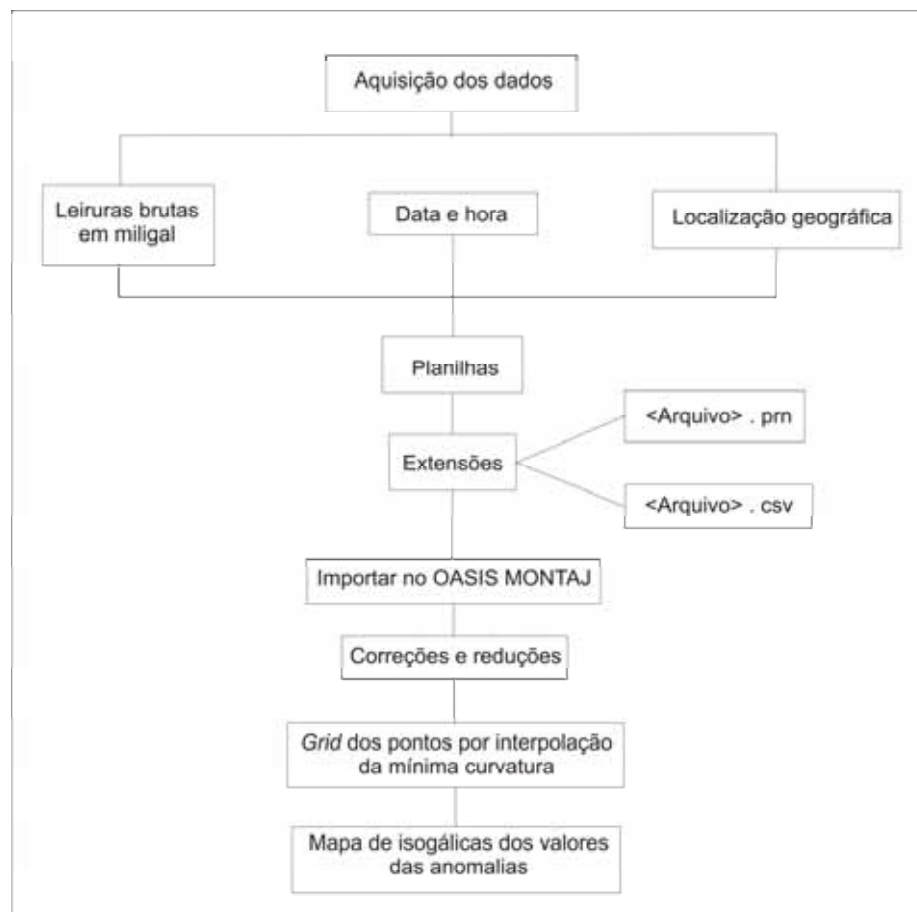


Figura 22. Etapas cumpridas no tratamento dos dados gravimétricos.

Em concordância aos cálculos efetuados na elaboração da Carta, acima citada, adotou-se o valor de $2,67\text{g/cm}^3$ para a densidade média da crosta na correção Bouguer, compatibilizando os dados gerados a partir deste levantamento com aqueles já existentes na mesma área, permitindo assim a sua homogeneização.

Já para as informações compiladas num mesmo banco de dados, criou-se um *grid* dos pontos por interpolação da mínima curvatura e mapas de isogálicas dos valores da anomalia como produto principal. A superfície de mínima curvatura é uma analogia à flexão de uma placa elástica e aproxima a superfície matemática por um plano flexionado que passa por todos os pontos de observação. Este método interpola os dados através do ajuste de uma superfície bi-dimensional aos dados brutos (x, y, z), de tal forma que a curvatura da superfície seja minimizada (BRIGGS, 1974).

4.4.1 Aplicação de Filtros

O campo gravimétrico observado é produto da superposição dos efeitos gravimétricos de várias fontes, posicionadas em profundidades distintas. Pode-se dizer que as anomalias gravimétricas são resultantes da soma total dos efeitos produzidos por todos os eventuais contrastes de densidades em subsuperfície.

As medidas geofísicas são a somatória dos efeitos de feições de interesse nomeados de “sinal”, como também dos efeitos indesejáveis, conhecidos como “ruídos”. A medida (M) pode ser representada sob a forma:

$$M = f(S, R)$$

Com **S** sendo o sinal e **R** o ruído.

Para amenizar ou corrigir estes efeitos que podem não ser de interesse para o trabalho, existem as filtragens que são classificadas basicamente em quatro tipos principais segundo Luiz & Silva (1995).

- a-) Passa Baixa: elimina as altas frequências, restando aquelas que em módulo são maiores do que um certo valor, mantendo somente frequências entre zero e aquele valor;
- b-) Passa Alta: elimina as baixas frequências, aquelas que estão entre zero e um determinado valor e mantendo as frequências maiores do que o módulo daquele valor;
- c-) Passa Banda: mantém uma faixa de frequências desejada e rejeita todas as outras;
- d-) Rejeita Banda: rejeita uma faixa de frequências e mantém todas as outras.

No processo de filtragem deste trabalho, os valores da anomalia Bouguer foram separados e analisados, tendo-se como base os diferentes números de ondas produzidas, com o objetivo de separar o efeito de possíveis feições rasas associadas às frequências altas. A relevância das filtragens é destacada no interesse de ressaltar as feições denominadas regionais, que são aquelas mais profundas da crosta terrestre atingindo a interface crosta/manto.

4.4.1.1 Filtragem Passa Baixa

Com a intenção de realçar as anomalias profundas, isto é, relacionadas às baixas frequências, foi utilizado o filtro passa baixa. Este tipo de procedimento tem como finalidade eliminar os ruídos e melhorar a visualização dos gradientes gravimétricos. No entanto, o objetivo desta filtragem é passar uma determinada banda de frequência com pequena ou nenhuma modificação e suprimir a parte remanescente.

O resultado deste método permitiu a visualização da interferência das anomalias com origem na interface crosta/manto, isto é, as frequências relacionadas apenas às anomalias regionais, delineando o embasamento que contém o enxame de diques.

Assim como as reduções, as filtragens foram feitas na plataforma OASIS MONTAJ. Utilizou-se a opção *Low Pass* (passa baixa) contido na função *filters* em *x-utilities* na barra de ferramentas do menu principal. Foi necessário especificar uma faixa de frequência para filtragem, e posteriormente usou-se o *cutoff* em frequências, cujo resultado foi satisfatório no que diz à consistência e realce dos gradientes delimitando as estruturas da área.

Dentro deste procedimento de filtragem foi necessário aplicar técnicas para a interpretação das anomalias dos dados gravimétricos primariamente gerados que foram tratados pelo método denominado de transformada rápida de *Fourier* (SPECTOR & GRANT, 1970 e GEOSOFT, 2005).

4.4.1.2 Separação Regional-Residual

Para separar os efeitos de feições mais profundas das mais rasas, foi aplicado um método de separação regional-residual do campo gravimétrico. A metodologia mais conhecida para esta separação é a de ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados.

O método de ajuste polinomial usa superfícies de tendência de graus variados e o campo residual resulta da diferença entre a superfície selecionada e os dados inseridos. A superfície é expressa matematicamente por um polinômio bidimensional cujo grau depende da complexidade dos dados a serem ajustados. À medida que o grau do polinômio é elevado, mais o campo calculado se assemelha ao observado.

O ajuste polinomial é uma das técnicas mais flexíveis para a determinação do campo gravimétrico, porém o processo de escolha do grau que melhor caracteriza a área é subjetivo.

4.5 MODELAGEM CRUSTAL E O PROGRAMA GM-SYS

Para melhor definir as principais anomalias observadas no mapa da anomalia Bouguer e também estimar a relevância das fontes, no caso deste trabalho o enxame de diques correlato às irregularidades na topografia do embasamento, foi escolhido para modelagem o perfil NE-SW, o qual secciona perpendicularmente o Lineamento de Guapiara.

A geração de modelos geológicos fundamentados em dados da anomalia Bouguer, consiste basicamente na concepção de um modelo físico/matemático no qual a resposta geofísica é inserida em um modelo da Terra.

Para obter um modelo da crosta consistente quanto ao arcabouço litológico/estrutural, foram analisadas algumas descrições de poços da Sabesp, onde constatou-se que na área, de maneira geral, existe uma cobertura sedimentar bem restrita. A maior parte das rochas expostas são litologias do próprio embasamento ou basicamente granitos, unidades carbonáticas, xistos e gabros.

O processo de ajustamento do modelo foi realizado com o auxílio do programa GM-SYS® v. 4.9 *for Windows*, que representa a suíte de modelagem do Oásis montaj™, produzido pela NGA (*Northwest Geophysical Associates*) para a

plataforma Geosoft. Desenvolvido para o cálculo das respostas obtidas em dados gravimétricos em um modelo geológico, este programa proporciona uma interação conjunta entre os valores observados simultaneamente com a construção do modelo e a resposta da curva calculada.

Os métodos utilizados por este programa são baseados em Talwani *et al.* (1959) e Talwani & Heirtzler (1964) e são utilizados os algoritmos e rotinas descritos por Won & Bevis (1987) para o cálculo das anomalias magnética e gravimétrica devidas a um polígono. Os cálculos de anomalias 2½ D ou terminação de corpos dentro de um campo potencial são baseados em Rasmunssen & Pedersen (1979).

O modelo deve corresponder de forma real a área estudada e ter os dados de densidades das estruturas e feições de forma que correspondam ao perfil gravimétrico. Onde quer que um cálculo de modelo seja executado, a interpretação indireta envolve três passos:

1. A construção de um modelo aceitável;
2. A comparação das anomalias calculadas e observadas;
3. A alteração do modelo para melhorar a correspondência entre as anomalias.

Para os cálculos da gravidade, o programa GM-SYS considera um modelo da Terra bidimensional e plano, com cada bloco do modelo entendendo-se para o infinito tanto na direção positiva quanto na negativa dos eixos perpendiculares a um determinado perfil.

É importante salientar que os modelos não são únicos, podendo haver diferentes deles para uma mesma resposta geofísica. Portanto é necessário que o intérprete atente às inferências geológicas e avalie o quanto à coerência geológica aproxima os valores medidos em campo com as características presentes na área em questão.

5 – MAPAS GRAVIMÉTRICOS E MODELAGEM CRUSTAL

5.1 MAPAS DAS ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS

As anomalias gravimétricas são convencionalmente representadas na forma de perfis ou então de mapas de contornos isogálicos. A interpretação dos mesmos pode ser facilitada com a utilização de técnicas digitais, como imagens de relevo coloridas e sombreadas que podem revelar estruturas que não são facilmente diferenciáveis nos mapas não processados.

O mapa da anomalia Bouguer elaborado nesta pesquisa foi produto de um banco de dados com os valores de X (latitude), Y (longitude) e Z (anomalia Bouguer), resultado de um *grid* gerado pelo método da mínima curvatura. Foi usado um espaçamento mínimo de 1.000 metros entre as células e as curvas isogálicas representam os valores da anomalia Bouguer.

Para a localização geográfica das estações foi empregado o sistema de coordenadas UTM, zona 23 do meridiano de Greenwich. O elipsóide de referência utilizado foi o SAD 69 para a América do Sul (IBGE).

5.2 ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS E OS DOMÍNIOS LITOESTRUTURAIS

Anomalia gravimétrica corresponde à diferença entre os valores da gravidade, numa determinada zona (medidos através de gravímetros), e os valores teoricamente calculados para essa mesma zona. Normalmente a anomalia Bouguer

é caracterizada por uma anomalia regional ampla, com variação suave, sobre as quais podem estar relacionados os domínios litológicos de uma determinada região.

A soma dos efeitos de fontes rasas (residuais) e profundas (regionais) está diretamente ligada às feições geológicas e estruturais. O mapa da anomalia Bouguer isento de qualquer tipo de processamento, representa essa somatória que equivale às massas profundas e de grandes dimensões (embasamento, interface crosta/manto, etc) e àquelas devido às massas superficiais (intrusões de corpos, domos, etc) (ALMEIDA, 2001).

O mapa base da anomalia Bouguer utilizado nesta pesquisa, conforme já citado anteriormente, possibilita uma relação direta entre distribuição das entidades tectono-estratigráficas (Figura 23) e os gradientes gravimétricos (Figura 24).

Esta analogia permite dizer que há um aumento da intensidade da anomalia no sentido SE, culminando na região costeira onde os valores variam entre -55,6 e -34,8 mGals. Este alto gravimétrico é devido a presença do embasamento pré-cambriano representado por rochas, de maneira geral, alcalinas mesozóicas, graníticas, metassedimentares, gnaisses, migmatitos e granulitos.

Outra relação do contexto geológico/gradiente gravimétrico pode ser observado no contato do embasamento com a Bacia do Paraná em decorrência da rápida transição de alto para baixo gravimétrico, na região central, com valores entre -101,9 e -75 mGals.

Ainda na Bacia do Paraná, porém na região NNW, reaparecem os altos gravimétricos com valores variando de -65 até -34,8 mGal. Podem ser interpretados como uma influência dos derrames basálticos da Formação Serra Geral que, na gravimetria, são bastante salientados, devido à diferença de densidade entre o derrame e os sedimentos que os circundam.



Figura 23. Mapa da distribuição das entidades tectono-estratigráficas do Estado de São Paulo (Adaptado de: ALMEIDA, 1964).

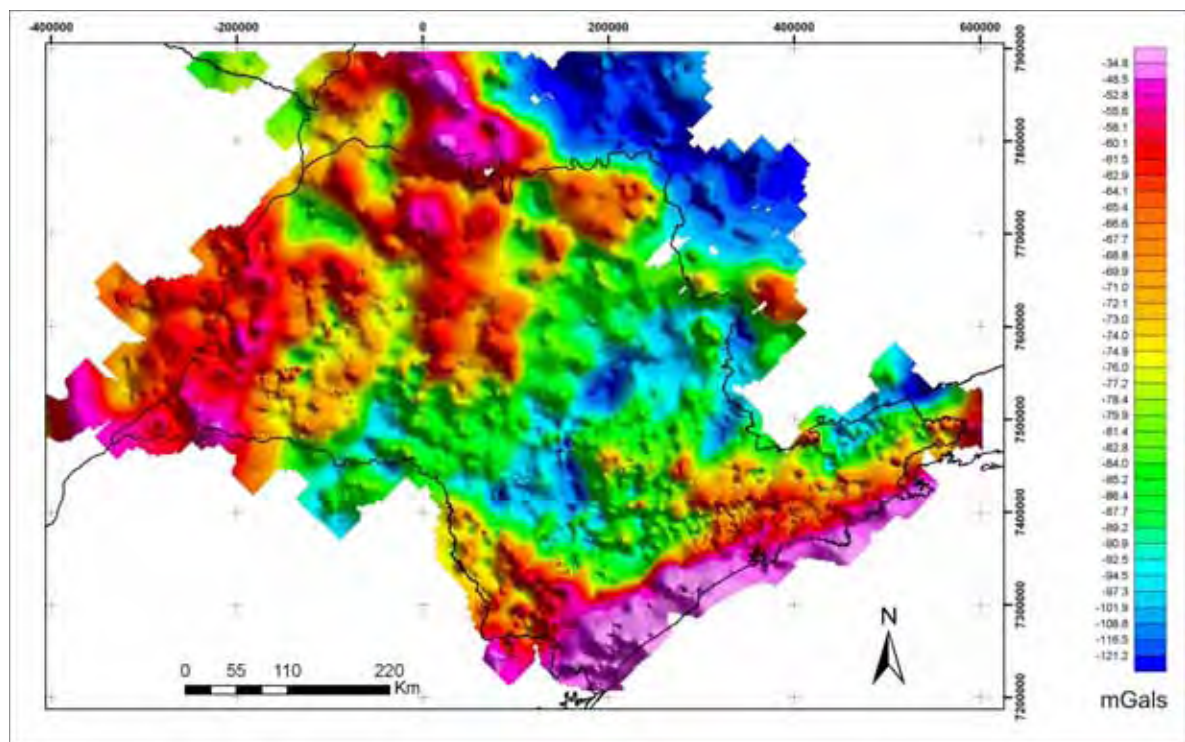


Figura 24 - Mapa de contorno sombreado da Anomalia Bouguer do Estado de São Paulo (GALLI et al., 1988).

5.3 MAPA DE ANOMALIAS BOUGUER

O primeiro produto obtido foi um mapa da anomalia Bouguer isento de tratamento (Figura 25) que pudesse destacar qualquer estrutura desejada, isto é, sem aplicações de filtros.

Subtraiu-se do valor da gravidade observada no terreno (já corrigida dos efeitos de maré, variação instrumental e latitude), o valor da gravidade normal reduzido para o nível do terreno (calculado para a latitude de referência usada na correção de latitude) e obteve-se o que é chamado de Anomalia Bouguer.

O mapa Bouguer revela a somatória dos efeitos gravitacionais produzidos por fontes de origem rasa e profunda. As anomalias com grandes comprimentos de onda são associadas a fontes de origem profunda e caracterizam as estruturas regionais, já aquelas com pequenos comprimentos são associadas às fontes de origem rasa e caracterizam as heterogeneidades crustais.

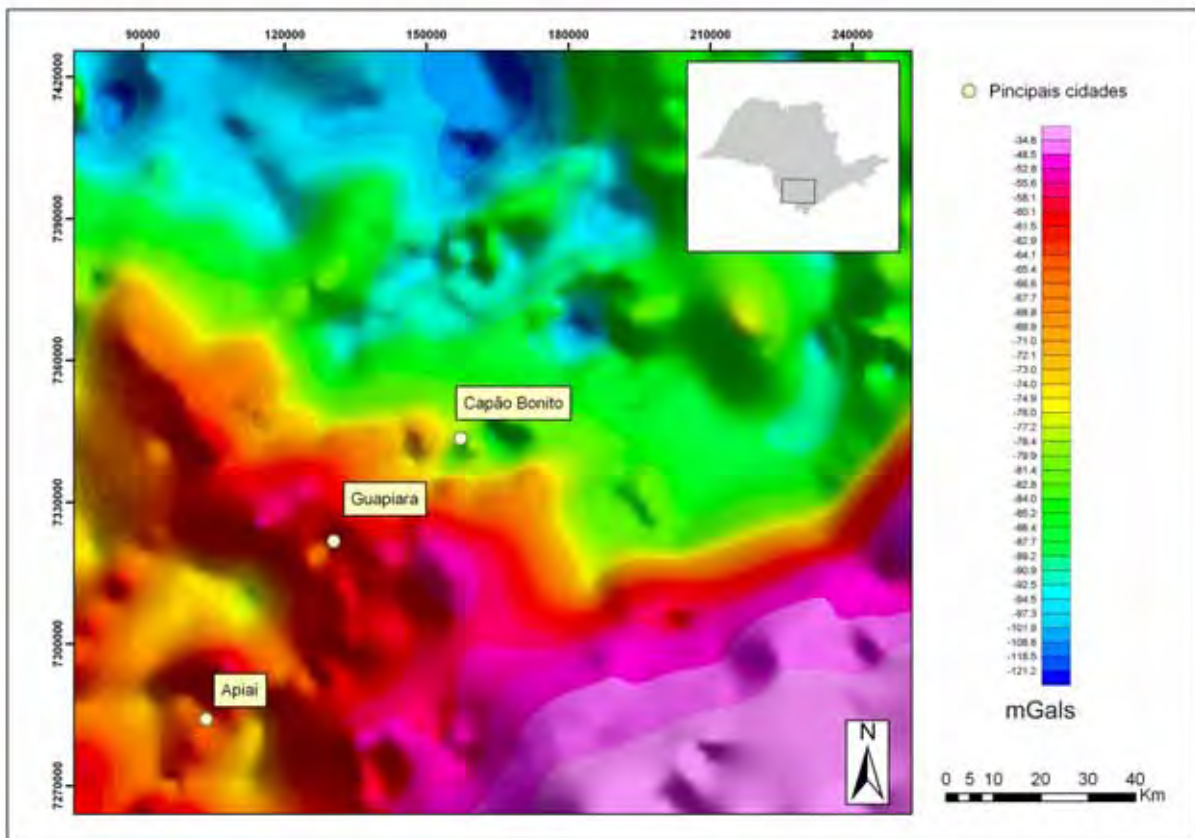


Figura 25 – Mapa de contorno sombreado da anomalia Bouguer, isento de tratamentos, com a localização das cidades e da estação base em Capão Bonito - SP.

Os valores da anomalia Bouguer apresentam-se maiores exatamente na região aonde se concentram os diques. A passagem de baixo para alto gravimétrico (centro-leste do mapa) é devida ao contato Bacia do Paraná/embasamento. O mapa reflete a dimensão das anomalias gravimétricas e qualitativamente, é possível observar um alto gravimétrico orientado segundo NW-SE (Figuras 25 e 26), o qual corresponde ao *trend* de maior concentração de diques de diabásio, correlacionável ao Lineamento de Guapiara.

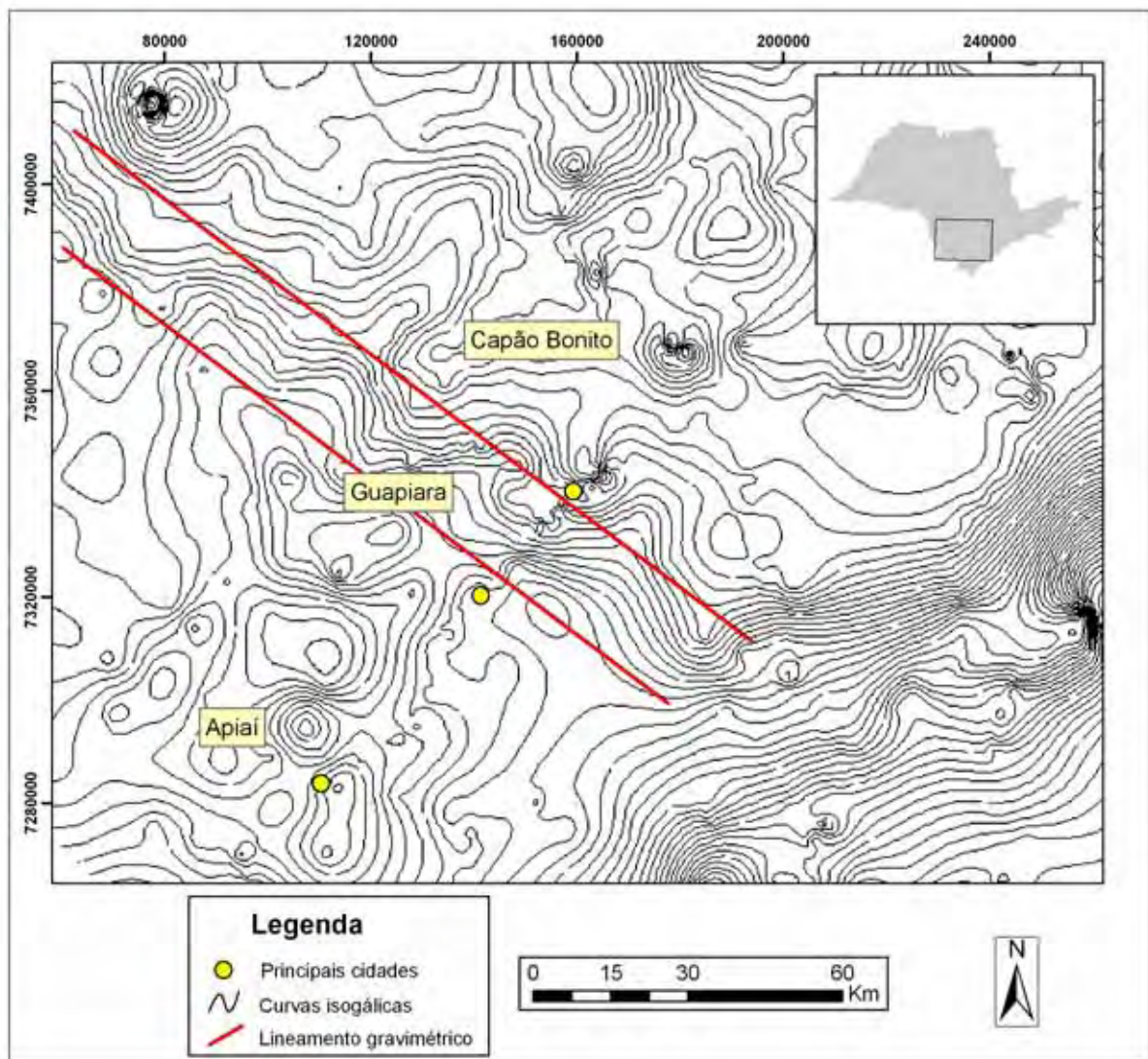


Figura 26 – Mapa de contorno da anomalia Bouguer caracterizando o forte lineamento NW-SE da área.

5.3.1 Filtragem Passa Baixa

Além dos mapas de contorno da anomalia Bouguer foi confeccionado um mapa com os dados submetidos à filtragem passa-baixa. Para tanto foi estabelecido o valor de *cutoff* que permitiram desenvolver espectro de potência radial no domínio da frequência.

Na Figura 27 observa-se o comportamento das ondas, no domínio da frequência ou número de onda, para os valores da anomalia Bouguer, os quais são representados através do número de ciclos por unidade de medida usado no *grid* gerado no eixo X (quilômetro). As estimativas de profundidade (eixo Y) são relacionadas às frequências de número de onda, também por unidade de medida (quilômetro) e de acordo com a energia (densidade) gerada pelos corpos e estruturas presentes.

O valor de corte (*cutoff*) adotado para a aplicação do filtro passa-baixa foi estabelecido de acordo com o espectro de potência radial (Figura 28), que limitou em ressaltar as frequências relacionadas às profundidades superiores a 35 quilômetros (anomalias regionais), e rejeitar as inferiores a esta (anomalias locais).

Estabelecido este valor foi gerado, então, o mapa com os dados de profundidade submetidos à filtragem passa – baixa cujo mapa é mostrado na Figura 29. É possível observar no espectro de potência (Figura 27), que foram cortadas somente as frequências que representam a energia de fontes rasas e intermediárias. O valor de corte determinado foi 0,042 (número de ondas por unidade de medida).

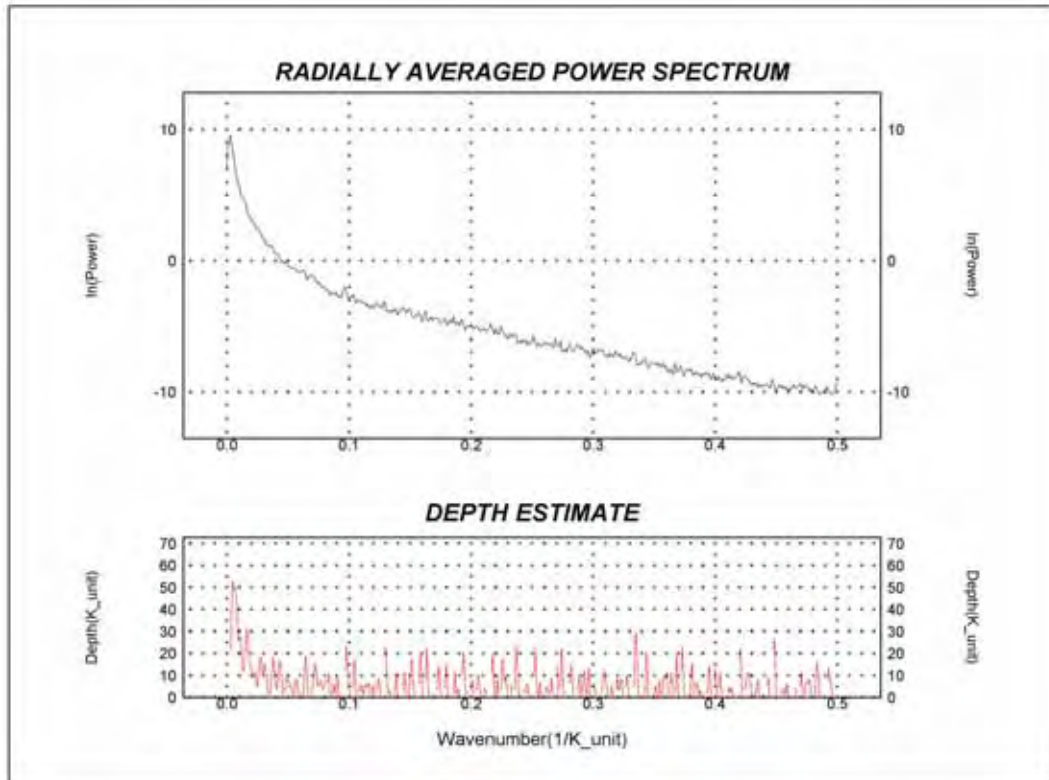


Figura 27. Espectro de potência radial dos dados da anomalia Bouguer no domínio da frequência. Os valores do eixo X representam ciclos por unidade de medida (km).

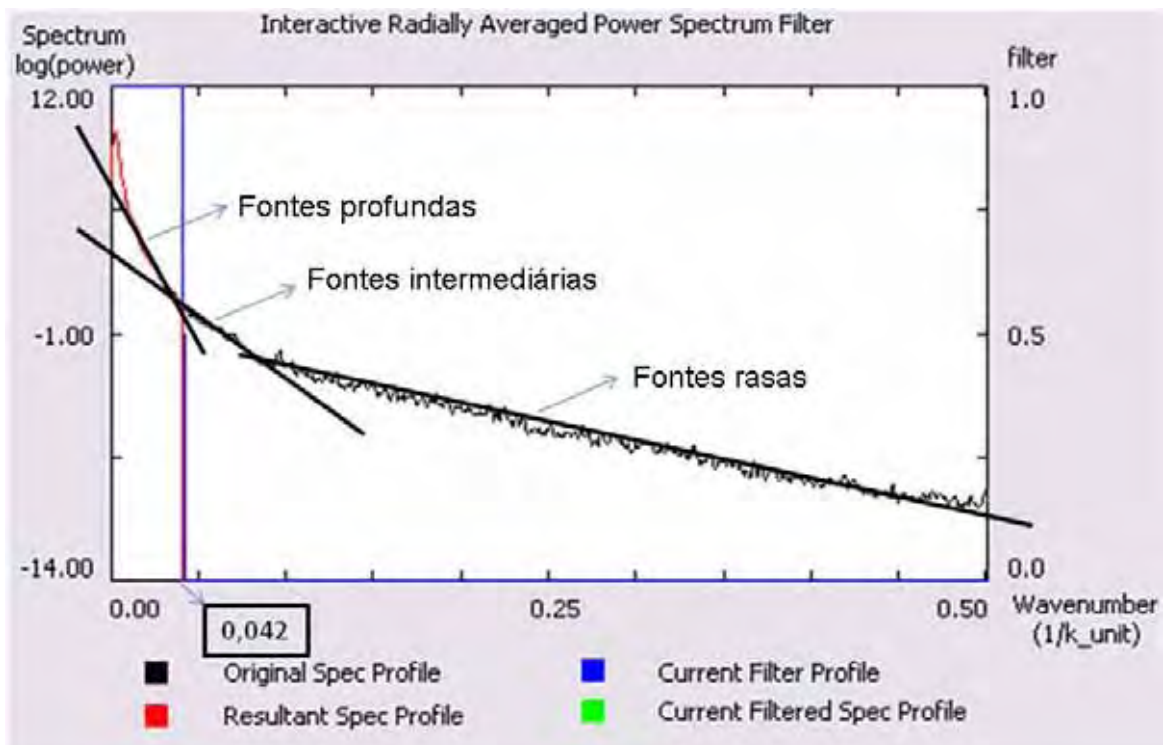


Figura 28. Espectro de potência radial das frequências no domínio do número de ondas com os valores de corte adotados para os valores da anomalia Bouguer (linha azul).

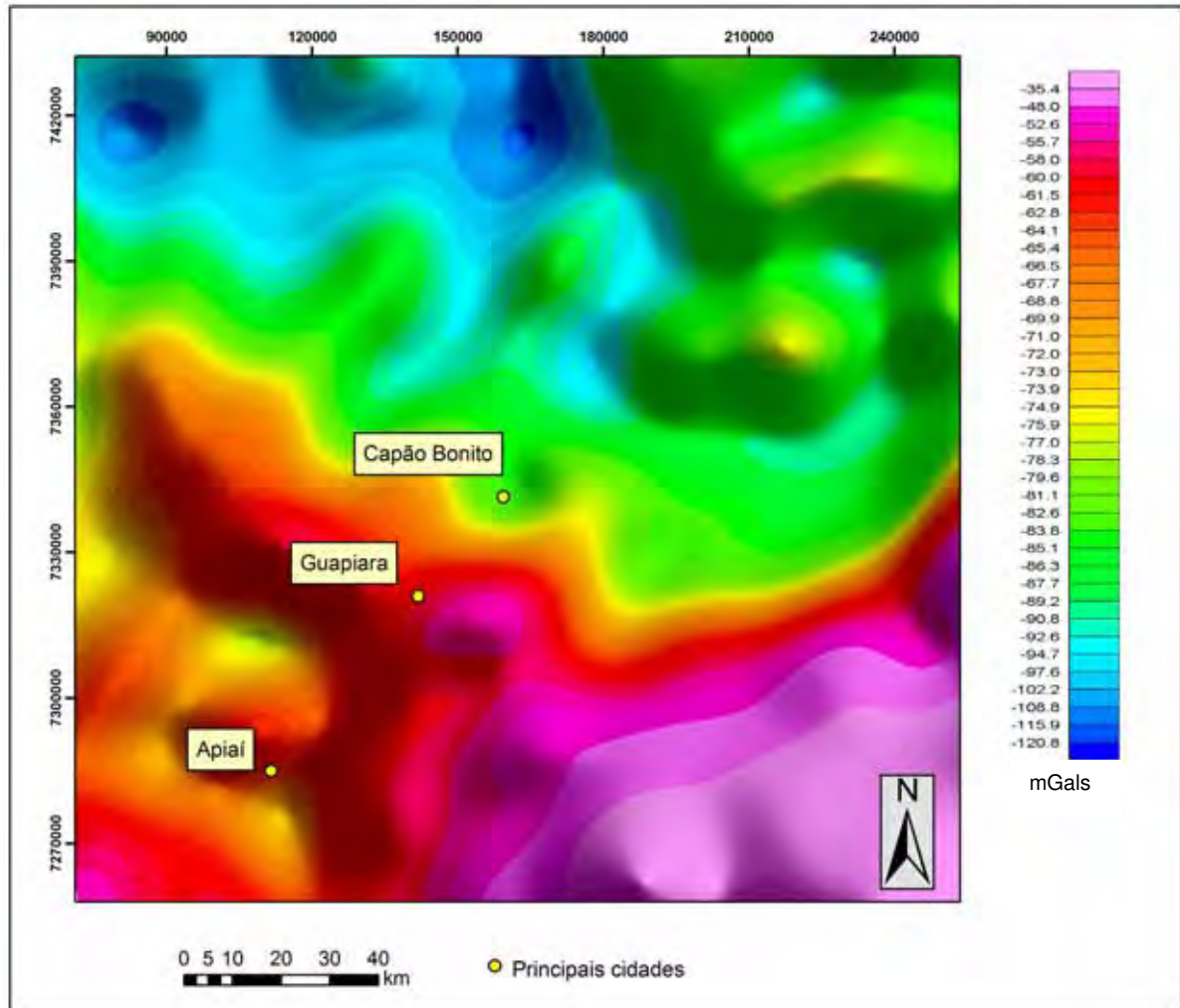


Figura 29. Mapa com os valores calculados da anomalia Bouguer submetidos à filtragem passa-baixa.

5.3.2 Separação Regional-Residual

O realce das fontes consideradas residuais foi obtido com a separação regional-residual. A metodologia desta filtragem permite ajustar graus que vão de um a nove. Uma análise quantitativa/qualitativa dos dados e posteriormente dos resultados obtidos após a aplicação deste procedimento foi possível observar que a superfície polinomial que assinalou mais adequadamente o campo gravimétrico localmente assinalado pelos diques, foi o de grau 6 (Figura 30).

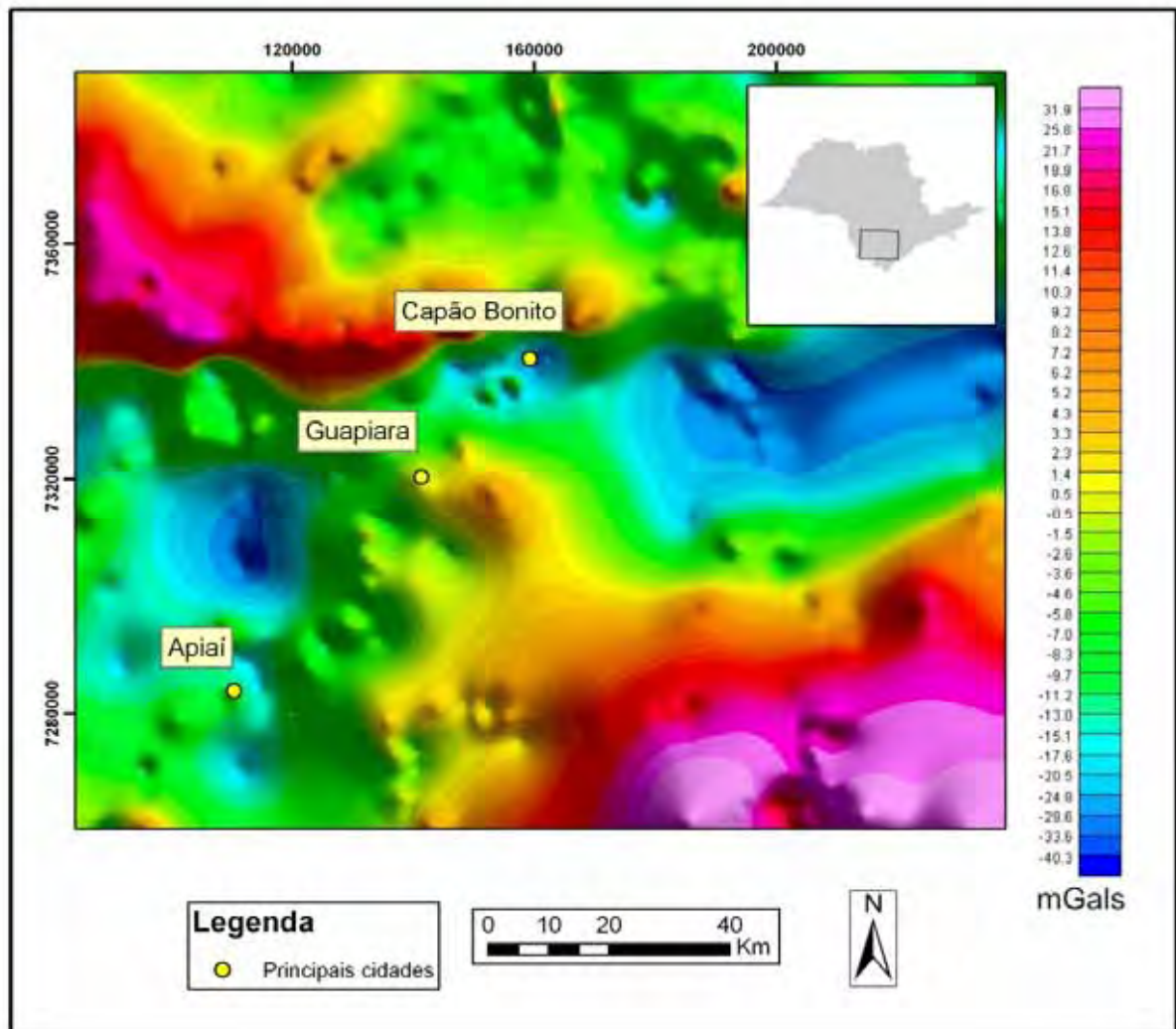


Figura 30. Mapa de contorno sombreado da Anomalia Bouguer residual de grau 6.

5.4 MODELAGEM GRAVIMÉTRICA DA ÁREA ESTUDADA

Os modelos gerados por meio dos dados observados dos valores da anomalia Bouguer caracterizam o alto gradiente gravimétrico ressaltado na área do feixe de diques, procurando reconhecer a influência do manto e, conseqüentemente da crosta terrestre.

O manto compreende a porção entre a descontinuidade de Mohorovicic (limite inferior da crosta, cuja profundidade pode variar de 5 km nas áreas oceânicas até 70 km em áreas cratônicas antigas) e a descontinuidade de Gutenberg, situada a aproximadamente 2900 km de profundidade, representando 82,7% do volume terrestre. O modelo desenvolvido neste trabalho teve como limite inferior a porção

mais externa, denominada manto superior, a qual é constituída de rochas ultramáficas ricas em olivina magnesiana.

Sobreposto ao manto superior ocorre a crosta terrestre, a qual representa a porção de maior importância para estudos geológicos, tendo em vista que nesta pequena fatia do globo situam-se os recursos minerais e energéticos de interesse e ao alcance do homem. Entretanto, em termos volumétricos equivale a apenas 1,41 % do volume da terra (considerando-se uma crosta com espessura média de 30 km), além de possuir a maior variabilidade em termos composicionais. Devido ao pequeno volume e às baixas densidades ($2,67 \text{ g/cm}^3$ em média), a contribuição da crosta para o campo gravimétrico total é pequena e os contrastes de densidade são sutis.

O modelo elaborado e apresentado neste estudo foi construído de acordo com o conhecimento geológico/estrutural da região. Os valores de densidade das unidades do modelo estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de densidade usados na modelagem geofísica baseados nos valores de Telford et al. (1990).

Rochas	Densidade sob influência dos diques (kg/m^3)	Densidade sem influência dos diques (kg/m^3)
Manto Superior	3.30	3.30
Crosta Inferior	2.86	2.85
Crosta Superior	2.81	2.80
Sedimentos	—	2.4

As densidades empregadas foram baseadas em Telford (et al, 1990), uma vez que não foi possível realizar medidas de densidade nos materiais considerados. As profundidades do manto e crostas superior/inferior foram baseadas no trabalho de Assumpção (2002), o qual assume para o Orógeno Ribeira uma espessura para crosta variando entre 35 e 41,7 Km.

No *layout* do programa utilizado na modelagem, a linha tracejada indica a anomalia observada e a linha cheia a anomalia calculada a partir do modelo, o qual quantifica as distribuições das massas. A direção estabelecida, conforme dita anteriormente, é NE-SW a qual atravessa a faixa de diques que representa o alto gravimétrico da área, o Lineamento Guapiara (Figura 31).

O *software* utilizado fornece o erro médio quadrático (*root mean square* ou RMS), resultante do ajuste entre as anomalias observada e calculada. Este ajuste foi obtido com objetivo de buscar a conformidade entre os dados de campo com as anomalias geradas a partir do modelo, balizado pelo erro e ajustado à geologia local.

Foram elaborados dois modelos gravimétricos para a área: (1) a Figura 32 tratou do enxame de diques como um corpo único, atribuindo às rochas que estão contidas neste panorama uma densidade maior do que aquelas que não contêm estes corpos, e (2) na Figura 33 cada dique foi individualizado, buscando reconhecer a influência desses corpos, Considera-se que o modelo representado na Figura 33 ajusta mais adequadamente à curva dos dados de campo, enquanto que o da Figura 32 reflete, de maneira geral, o efeito regional da anomalia advinda do manto, sem descartar a influência dos diques neste contexto.

Ambos estão em concordância com a geologia da área, porém neste trabalho assumiu-se como principal o modelo da Figura 32 e secundário aquele representado pela Figura 33.

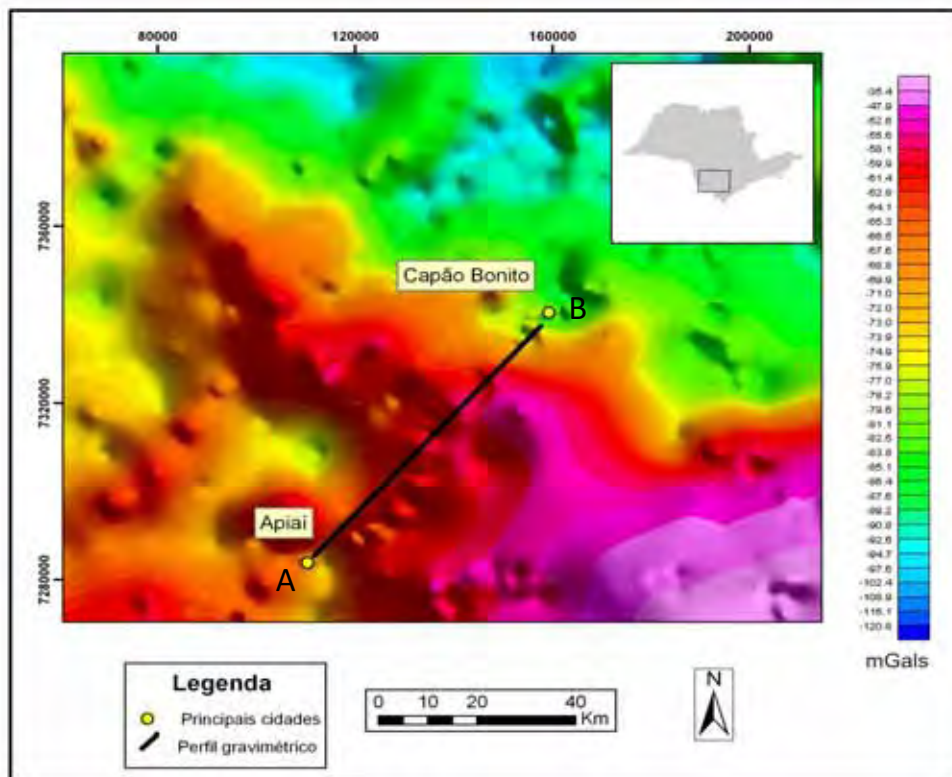


Figura 31. Localização do perfil gravimétrico entre as Cidades de Capão Bonito e Apiaí, ambas no Estado de São Paulo.

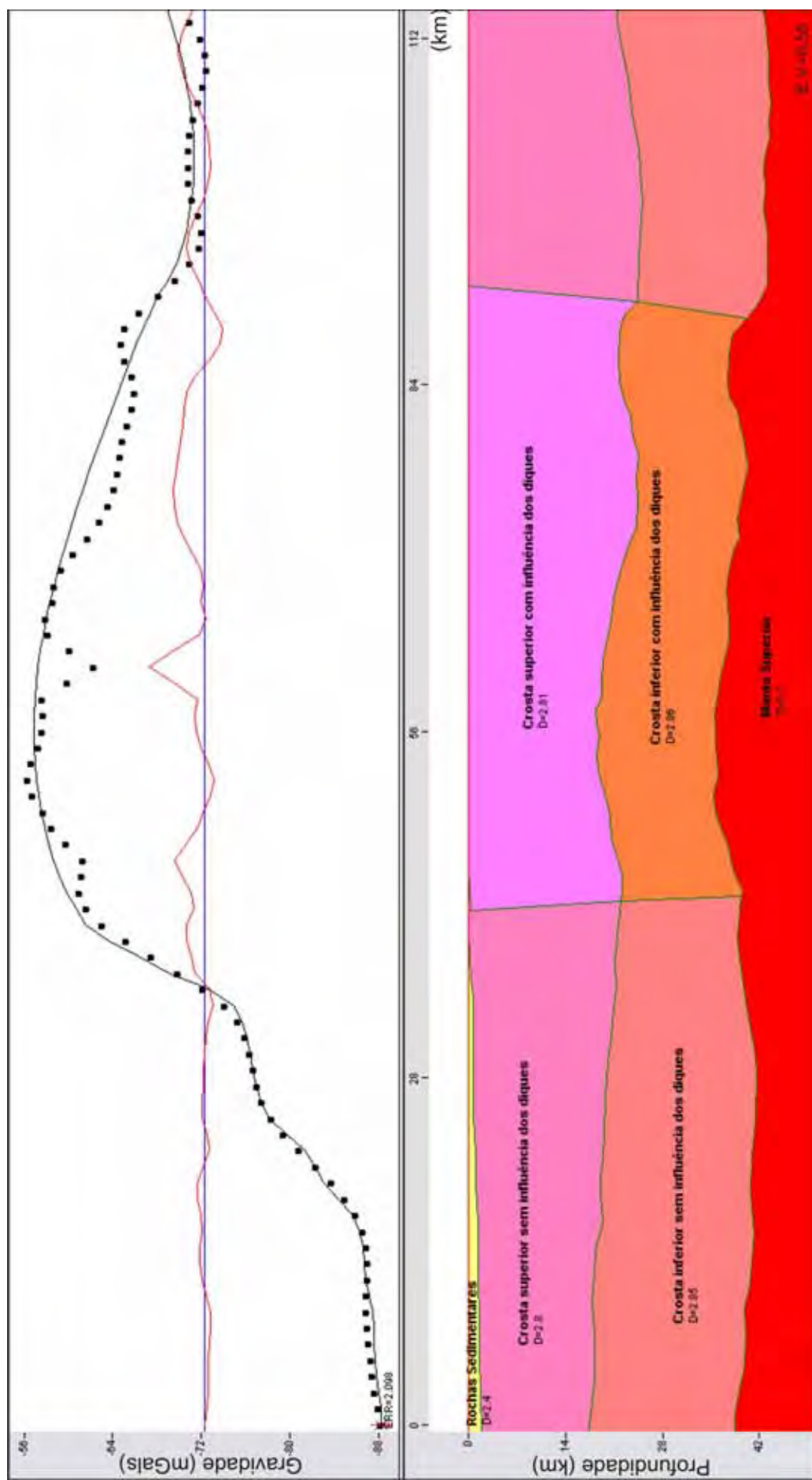


Figura 32. Modelagem gravimétrica da seção AB (NE-SW) caracterizando a influência do conjunto de diques. Os pontos representam os valores observados no campo e a linha contínua a curva calculada. A curva em vermelho representa o desajuste.

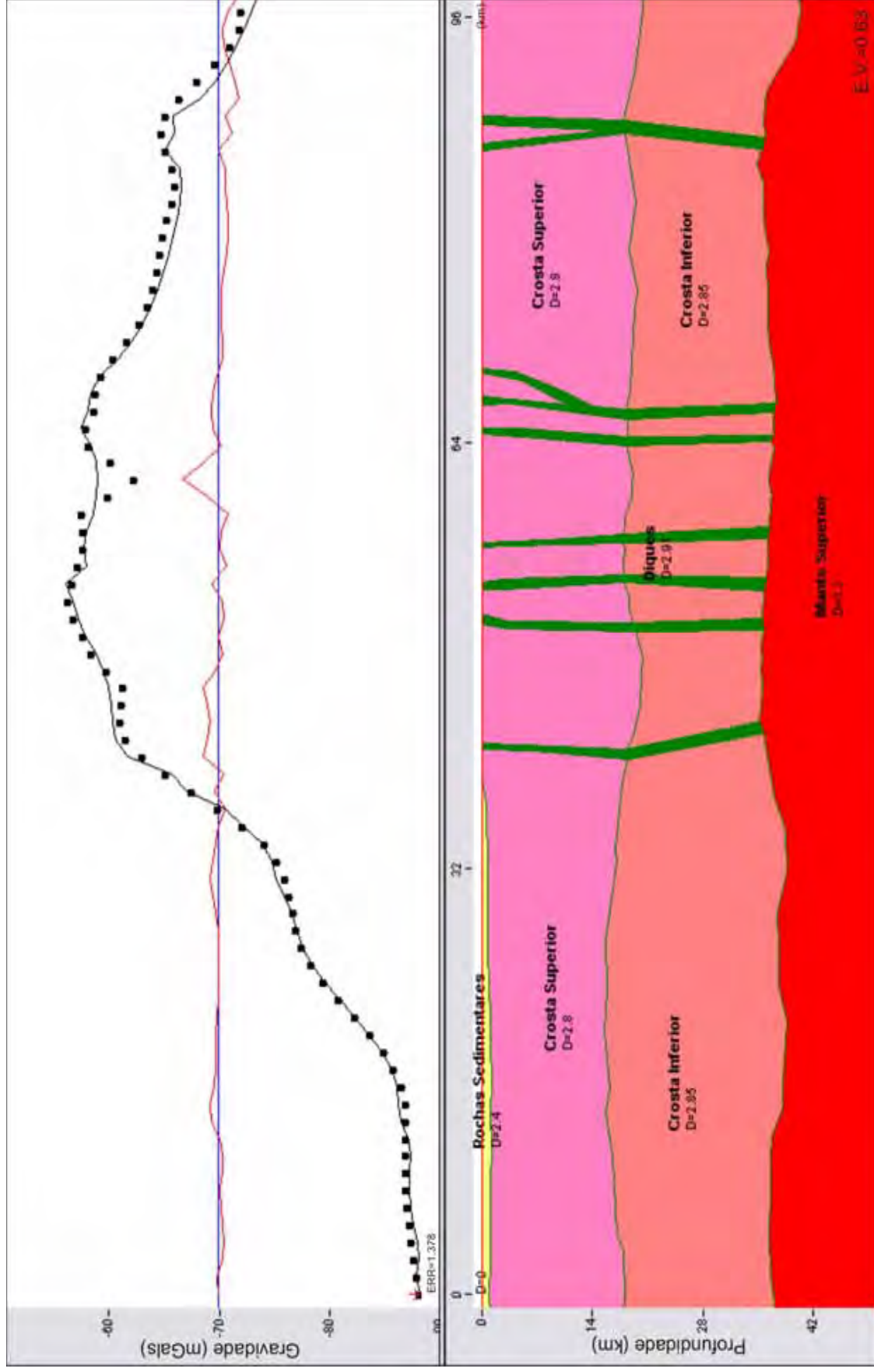


Figura 33. Modelagem gravimétrica da seção AB (NE-SW) caracterizando a influência dos diques. Os pontos representam os valores observados no campo e a linha contínua a curva calculada. A curva em vermelho representa o desajuste. E.V.=0.63

6 – DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível constatar, mais uma vez, a relevância da geofísica em estudos de subsuperfície. Em particular os resultados da gravimetria submetidos às diferentes técnicas aplicadas e integradas de interpretação que permitiram uma concretização acerca das características geológicas, arcabouço estrutural e geometria em profundidade na região do Lineamento Guapiara. Além disso, os resultados foram satisfatórios quanto à composição dos modelos crustais baseados em dados gravimétricos, mais especificamente na anomalia Bouguer.

Primeiramente o mapa da anomalia Bouguer do Estado de São Paulo (Figura 24) proporcionou uma associação entre o arcabouço litoestratigráfico e as respectivas anomalias gravimétricas. Sendo assim, foi possível reconhecer a região de maior ocorrência do derrame basáltico da Formação Serra Geral na região N-NW do mapa, a ocorrência das grandes espessuras de rocha sedimentar representada pelo baixo gravimétrico na região central e por fim o embasamento pré-cambriano na região SE, representado por rochas ígneas e metamórficas.

Além disso, o mapa da Anomalia Bouguer da região de interesse, isento de qualquer tipo de filtragem (Figura 25), evidenciou claramente o alto gravimétrico correspondente ao Lineamento Guapiara, objeto deste estudo, com feições contrastantes e lineares, vistas nos mapas, com aparente continuidade. As anomalias apresentadas são resultados dos contrastes de densidade tanto em

superfície e níveis rasos (corpos intrusivos básicos) como a níveis mais profundos (embasamento e limite crosta/manto ou Moho).

Esta feição contrastante que delimita o Lineamento segundo a direção preferencial NW-SE é concordante com estudos realizados anteriormente na área (ALMEIDA, 1983; FERREIRA & ALGARTE 1979; FERREIRA, 1982a) que contribuíram para parte do entendimento desta mega-estrutura.

Esta acentuada anomalia pode estar associada a sistemas de falhamentos, conforme observado no mapa com os traçados dos lineamentos gravimétricos, Figura 26. Estas falhas foram reconhecidas e interpretadas através das anomalias delimitadas por contornos isogálicos alongados e crescentes e com variação no gradiente horizontal.

A consideração de que este lineamento ocorre como uma feição profunda é confirmada na interpretação do mapa da anomalia Bouguer submetida à filtragem Passa-Baixa (Figura 29) onde foram ressaltadas as anomalias em decorrência das estruturas localizadas abaixo de 35 km. No entanto, o comportamento regional das anomalias gravimétricas se mantém, mesmo depois de eliminadas as altas frequências.

No caso da filtragem separação regional-residual (Figura 30), apenas as estruturas mais rasas foram realçadas, isto é, as anomalias causadas pelas estruturas mais próximas à superfície. Neste arcabouço, destacam-se as rochas básicas que compõem os diques do Lineamento Guapiara.

O modelo crustal foi desenvolvido para reconhecer a origem desta intensa anomalia positiva, tentando quantificar a influência do manto e dos diques, tanto em conjunto quanto separadamente. Além disso, foi possível provar o resultado do diastrofismo que atingiu a plataforma e que culminou no desenvolvimento deste intenso fissuramento.

Os modelos gravimétricos permitiram identificar o comportamento da topografia do embasamento em toda a seção modelada (Figuras 32 e 33). As anomalias estão em concordância com as feições geológicas reconhecidas assim como a espessura da crosta ao longo da área é compatível ao trabalho de Assumpção (2002) que assume profundidades variando de 35 a 42 km.

Na região do Lineamento Guapiara ocorre um afinamento da crosta da ordem de 14,64%, em decorrência da subida do limite crosta/manto, conforme anomalia mantélica representada no modelo crustal desenvolvido neste trabalho. Este efeito

termal produz anomalias gravimétricas bastantes expressivas, devido à elevação do manto (de densidade maior) a uma profundidade menor em relação à superfície, acarretando um intenso processo de estiramento crustal. A quantificação dessas variações da profundidade da Moho permite observar que na região do Lineamento Guapiara a espessura mínima da crosta chega aos 35 km e a máxima aos 37 km. Nas extremidades da anomalia mantélica, isto é, nos limites laterais do Lineamento a espessura atinge 41,5 km (nas proximidades do Arco de Ponta Grossa) e no outro extremo 39 km.

Esta atividade epirogenética representa a propagação de esforços que ocorreram na margem da placa relacionados com a tectônica divergente intercalada com efeito térmico e extensão local no interior da placa (STRUGALE et al., 2007). Esta domação da crosta continental e estiramento crustal que tem por causa a existência de uma pluma mantélica aquecendo a litosfera representam a tendência evolutiva de uma junção tríplice em que o Lineamento Guapiara em conjunto com o Arco de Ponta Grossa concebem um ramo não desenvolvido da junção que deu origem ao Oceano Atlântico.

Assim, é prudente considerar a origem desses eventos magmáticos toleíticos como consequência do processo de extensão litosférica relacionado ao rifteamento do Gondwana, onde os esforços distensivos no Mesozóico resultaram no enxame de diques do Lineamento Guapiara, de acordo com Asmus (1975).

Neste contexto a abertura Mesozóica do Oceano Atlântico representa um episódio de reativação desencadeado por falhas e deformação regional do embasamento na região do Lineamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA F.F.M. de 1956. Novas ocorrências de fósseis no Pré-Cambriano brasileiro. An. Acad. brasil. Ciênc., 28:54-55.
- ALMEIDA F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. São Paulo, Inst. Geogr. Geol., **Boletim** 41, p. 167-263.
- ALMEIDA, F.F.M. DE. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1969, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Bahia/Sergipe, 1969, p. 24-46.
- ALMEIDA F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-americana. **Rev. Bras. Geoc.** 13:139-158.
- ALMEIDA F. F. M. de, HASUI, Y. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Blücher, 378 p., 1984.
- ALMEIDA F.F.M., AMARAL G., CORDANI U.G., KAWASHITA K. 1973. The Precambrian evolution of the South America cratonic margins. In: **Ocean Basins and Margins** (Edited by A.E.M. Nairn and EG. Stehli), p.411-446. Plenum Publ. Co, New York, USA.

- ALMEIDA, S.H.S. **Gravimetria e tectônica do cinturão Ribeira na região limítrofe entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. 201f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001.
- ASMUS, H. E. 1975. Controle estrutural da deposição Mesozóica nas Bacias da Margem Continental Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, nº. 3, p. 160-175.
- ASMUS, H. E. 1978. Hipóteses sobre a origem dos sistemas de zonas de fraturas oceânicas/alinhamentos continentais que ocorrem nas regiões sudeste e sul do Brasil. In: **Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil**. Rio de Janeiro Série Projeto REMAC. v.4, p.39-73.
- ASSUMPÇÃO M., JAMES D., SNOKE A. 2002. Crustal thicknesses in SE Brazilian Shield by receiver function analysis: Implications for isostatic compensation **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, VOL. 107, NO. B1, 10.1029/2001JB000422
- BABINSKI, M., CHEMALE JR., F., HARTMANN, L. A., VAN SCHMUS, W. R.SILVA, L. C. 1996. Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil. **Geology**, 24(5):439-442.
- BASEI M.A.S., SIGA JR. O., REIS NETO J.M., HARARA O.M., PASSARELLI C.R., MACHIAVELLI A. 1997. Geochronological map of the Precambrian terrains of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil: Tectonic implications. In: **SBG**, South American Symposium on Isotope Geology, 1, Campos do Jordão, 1997. Extended Abstracts..., Campos do Jordão, p. 44-46.
- BASEI M.A.S., CITRONI S.B., SIGA JR. O. 1998. Stratigraphy and age of fini-Proterozoic basins of Paraná and Santa Catarina States, Southern Brazil. **Bol. IG-USP, Série Científica**, 29:195-216.

- BERGMANN M. 1988. Caracterização estratigráfica e estrutural da seqüência vulcano-sedimentar do Grupo São Roque na região de Pirapora do Bom Jesus, Estado de São Paulo. São Paulo, IGc-USP, **Dissertação de Mestrado**, 155 p.
- BRIGGS, I. C. Machine contouring using minimum curvature. In: **Geophysics**, vol. 39, nº. 1, pp. 39-48, 1974.
- CAMPANHA G.A.C., BISTRICHI C.A., ALMEIDA M.A. 1987. Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Apiaí. In: SBG, Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3, Curitiba, 1987. **Atas...**, Curitiba, v. 2, p. 725-742.
- CAMPANHA G.A.C., SADOWSKY G.R. 1999. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). Precambrian **Resumos**, 98:31-51.
- CAMPANHA G.A.C. 2002. O papel das zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira. São Paulo, IGc-USP, **Tese Livre-Docência.**, 105 p.
- CASTRO, L. G. ; FERREIRA, F. J. F. ; ANGULO, R. J. . Modelo gravimétrico-magnético do Gráben de Paranaguá-PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 273-292, 2008.
- CORDANI U.G., BASEI M.A., SIGA JR. O., NUTMAN A.P. 1999. Geochronology U-Pb (SHRIMP) of Campo Alegre, Itajaí and Castro Basins: Neoproterozoic extensional regimes in the Brazilian south region. In: GSA, Annual Meeting of the Geological Society of America, Denver, Colorado, 1999. **Abstracts...**, Denver, Colorado, p. 282.
- CPRM, 2001. Mapa Geológico do Brasil. Escala 1:500.000.
- CURY L.F., KAULFUSS G.A, SIGA JR. O., BASEI M.A.S., HARARA O.M., SATO K. 2002. Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitóides alcalinos deformados

dos Núcleos Betara e Tigre: Evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí. **Geologia USP: Publ. Esp.**, 2:95-108.

DAITX E.C. 1996. Origem e evolução dos depósitos sulfetados tipo-Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas de Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR). Rio Claro, IGCE-UNESP, **Tese Doutorado**, 453 p.

EBERT, H.D., HASUI, Y. 1998. Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of southeast Brazil. In: Holdsworth, R. E.; Strachan, R. A. Dewey, J. F. (eds) **Continental Transpressional/Transtensional Tectonics**, Geological Society, London, Special Publications 135, PP.:231-252.

ERNESTO, M., HODO, F. Y. & PACCA, I. G. 1979. Estudo paleomagnético de seqüências de derrames basálticos da Formação Serra Geral em Santa Catarina. In: **Academia Brasileira de Ciências. Anais.** Rio de Janeiro, 51 (3): 327-52.

FAIRCHILD T.R. 1982. New stromatolites from the Upper Precambrian Açungui Group, Eastern Paraná, Brazil and their potential stratigraphic use. *Bol. IG*, 13:43-50.

FALEIROS F.M. 2003. Zona de Cisalhamento Ribeira: Deformação, metamorfismo e termobarometria de veios sin-tectônicos. São Paulo, IGc-USP, Dissert. Mestr., 145 p.

FERNANDES A.J., CAMPOS NETO M.C., FIGUEIREDO M.C.H. 1990. O Complexo Embú no leste do Estado de São Paulo: limites e evolução geológica. In: **SBG, Congr. Bras. Geol.**, 36, Natal, 1990. Anais..., Natal, v. 6, p. 2755-2763.

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 (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 170 p.
- FERREIRA F.J.F. & ALGARTE J.P. 1979. O comportamento aeromagnetométrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos estados de São Paulo e Paraná. In: **Simp. Reg. Geol.**, 2, Rio Claro, 1979. *Atas...* Rio Claro, SBG. v.2, p.195-208.
- FERREIRA F.J.F., MORAES R.A.V., FERRARI M.P., VIANNA R.B. 1981. Contribuição ao Estudo do Alinhamento Estrutural de Guapiara. In: **Simpósio Regional de Geologia**, 3., Curitiba, 1981. *Atas*. Curitiba, SBG, Núcleo São Paulo, v.1, p. 226-240.
- FERREIRA, F.J.F. & FERRARI, M.P. 1980. *Projeto Botucatu: levantamento aeromagnetométrico e interpretação qualitativa preliminar*. São Paulo, Paulipetro. 13 p. II. Bibliografia. (Relatório GEF/SMP/RT-05/80)
- FERREIRA FJF, MONMA R, CAMPANHA GAC & GALLI VL. 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. 1989. An estimate of the degree of crustal extension and thinning associated with the Guapiara Lineament based on aeromagnetic modelling. *Bol. IG-USP, Série Científica*, 20:69-70.
- FIORI A.P. 1992. O Sistema de Dobramento Apiaí, Estado do Paraná. *Rev. Bras. Geoc.*, 23:5-17.

- FULFARO, V. J.; STEVAUX, J. C.; SOUZA FILHO, E. E.; BARCELOS, J. H. A. Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia**, n.33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: SBG, v.2, p. 711-724. 1984.
- GALLI, V., BLITZKOW, D., Sá, N. C., 1988. Carta gravimétrica do Estado de São Paulo. São Paulo. IPT (Rel. nº 25.645).
- GAMA JR., E. 1979. A sedimentação do grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Ver. Brasil. Geoc.*,9 (1):1-16.
- GEOSOFT INCORPORATED. 2005. Montaj MAGMAP filtering; 2-D frequency domain of potential field data extension for Oasis Montaj v6.1. Toronto, Ontario, Canada.
- HACKSPACHER P.C., DANTAS E.L., SPOLADORE A., FETTER A.H., OLIVEIRA M.A.F. 2000. Evidence of Neoproterozoic back arc basin development in the Central Ribeira Belt, Southeastern Brazil: New geochronological and geochemical constraints from the São Roque-Açungui groups. **Rev. Bras. Geoc.**, 30:110-114.
- HASUI, Y. 1975. Evolução polifásica do Pré-Cambriano oeste da capital paulista. **Bol. IG**, 6:95-107.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M., 1975, The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 247-266.
- HEILBRON M., PEDROSA-SOARES A.C., CAMPOS NETO M., SILVA L.C., TROUW R.A.J., JANASI V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) **O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, p. 203-234.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A.
1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil; F.F.M. Almeida. São Paulo.
187p. il. Bibliografia (Relatório IPT n° 14.091).
- JANASI V.A., ULBRICH H.H.G.J. 1991. Late Proterozoic granitoid magmatism in the
State of São Paulo, southeastern Brazil. **Precambrian Res.**, 51:351-374.
- JANASI V.A., ALVES A., VLACH S.R.F., LEITE R.J. 2003. Granitos peraluminosos
da porção central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: Sucessivos eventos
de reciclagem da crosta continental no Neoproterozóico. **Geologia USP:
Publ. Esp.**, 3:13-24.
- JULIANI C. 1993. Geologia, petrogênese e aspectos metalogenéticos dos grupos
Serra do Itaberaba e São Roque na região das serras do Itaberaba e da
Pedra Branca, NE da Cidade de São Paulo, SP. São Paulo, IGc-USP, **Tese
Doutorado**, 803 p.
- JULIANI C., BELJAVSKIS P. 1995. Revisão da litoestratigrafia da Faixa São
Roque/Serra do Itaberaba (SP). **Rev. IG**, 16:33-58.
- KAULFUSS G.A. 2001. Geocronologia dos núcleos de embasamento Setuva, Betara
e Tigre, norte de Curitiba, Paraná. São Paulo, IGc-USP, **Dissertação
Mestrado**, 115 p.
- LANDIM, P.M.B. & SOARES, P.C. Estratigrafia da Formação Caiuá. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976, Ouro Preto. **Anais...**
Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, p. 195-206.
- LEITE R.J. 2003. Petrogênese e geocronologia U-Pb do magmatismo granítico tardi
a pós-orogênico no Batólito Agudos Grandes (SP). São Paulo, Inst.Geoc.,
USP, **Tese Doutorado**, 218 p.

- LUIZ, J. G.; COSTA & SILVA, L. M. **Geofísica de Prospecção**. Belém. Pará, Universidade Federal do Pará, 1995. 311 p.
- MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNERIO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B.DE. orgs. 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca. 673p.
- MARINI O.J., TREIN E., FUCK R.A. 1967. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. **Bol. Paran. Geoc.**, 23-25:23-104.
- MELO, M.S.; COIMBRA, A.M.; CUCHIERATO, G. Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, Neoceno-zóico da Depressão Periférica Paulista. São Paulo: **Revista IG**, v.18, n.1/2, p. 49-63, 1997.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 8 (1): 69-82, jan./mar. 1994.
- MINEROPAR. Minerais do Paraná S.A. 2001. Mapa geológico do Estado do Paraná.
- MIO E. 2005. Modelagem crustal da Bacia de Santos pela integração de métodos geofísicos. Rio Claro. 94 p. (**Dissertação de Mestrado**, Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista).
- MORELLI, C , GANTAR, C , HONKASALO, T., MCCONNELL, R.K., TANNER, J.G., SZABO. B., UOTILA. U. & WHALEN, C.T. 1974. The international gravity standardisation net (I.G.S.N. 71). **International Association of Geodesy, Special Publication**, No. 4, 194 pp.
- O'LEARY, D.W., FREEDMAN, J.D. & POHN, H.A. 1976. Lineament linear lineation: some proposed new standars for old terms. Geol. Soc. Am. Bull. New York, 87 (10):1463-69, October.

- PACCA, I.G. 1980. Medidas de susceptibilidade e magnetização natural de basaltos da Formação Serra Geral no Estado de São Paulo. São Paulo, IAG. 4 p. (Relatório Interno).
- PIRES F.A. 1991. Faciologia e análise paleo-ambiental da seqüência deposicional Furnas-Lageado (Grupo Açungui) de idade proterozóica. **Rev. Bras. Geoc.**, 21:355-362.
- PRAZERES FILHO H.J. 2000. Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, Estado do Paraná. São Paulo, IGc-USP, **Dissertação Mestrado**, 181 p.
- RAGATKY D., DUARTE B.P., TASSINARI C.C.G. 2003. Geochemical and isotope characteristics of the Morro do Pão granitoid, southern Brazil. In: **SBG, South American Symposium on Isotope Geology**, 4, Salvador, 2003. Extended Abstracts..., Salvador, v. 1, p. 256-259.
- RASMUSSEN, R. & L. B. PEDERSEN. End corrections in potential field modeling. **Geophysical Prospecting**, v.27, p. 749-766, 1979.
- REIS NETO J.M. DOS 1994. Faixa Itaiacoca: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico, São Paulo. São Paulo, IGc-USP, **Tese Doutorado**, 253 p.
- ROBINSON E.S. & ÇORUH C. 1988. **Basic exploration geophysics**. EUA, Ed. John Wiley Sons, Inc., Cap. 13 - Geoelectrical Surveying, p. 445-500.
- ROSALES MJT. 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.
- SÁ, N. C. Reduções e observações gravimétricas: Teoria e prática. Universidade de São Paulo – IAG. 90 p. 1994


- SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBG, 1974. v.1, p. 41-65.
- SHERIFF, R.E. Geophysical Methods. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 605p.
- SIMPSON, R. W. & R. C. JACHENS. Gravity methods in regional studies. In: L. C. PAKISER & W. D. MOONEY. **Geophysical Framework of the continental United States**. Boulder: Geological Society of America, 1989. p. 35-44.
- SOARES, P.C. Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 7, n.2, p.131-149, 1977
- SOUZA A.P. 1990. Mapa geológico na escala 1:50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde, SP/PR. São Paulo, IGc-USP, **Dissertação de Mestrado**, 200 p.
- SPECTOR, A. GRANT, F.S., 1970 Statistical Models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**, Vol. 35, N.2, p. 293-302.
- STRUGALE M, ROSTIROLLA SP, MANCINI F, PORTELA FILHO CV, FERREIRA FJF & FREITAS RC. 2007. Structural framework and Mesozoic-Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná basin, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 24: 203-227.
- TALWANI, M. & HEIRTZLER, J.R. Computation of gravity anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary shapes. **Geologic Sciences**, Stanford University, Part 1, n. 9, p.464-480, 1964. *Apud*: GM-SYS. Gravity / magnetic modeling software – **Users Guide**. Version 4.8. Corvallis, Oregon, 2002, 101 p.

- TALWANI M., WORZEL J.L., LANDISMAN, M. Rapid gravity computations for two dimension bodies with the application to the Mendocino submarine fracture zone. In: **Journal of Geophysics Research**. n.69, p.49-69, 1959. *Apud*: GMSYS. Gravity / magnetic modeling software – **Users Guide**. Version 4.8. Corvallis, Oregon, 2002, 101 p.
- TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. Cambridge University Press, Cambridge, 1990, 770 pp.
- THEODOROVICZ A., CÂMARA M.M., MORAIS S.M., GODOY H.K, TAKAHASHI A.T. 1986. Projeto Engenheiro Maia-Ribeirão Branco: Rel. Final. CPRM/Pró-Minério.
- TROMPETTE R. R. Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma): Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. Balkema, Rotterdam, 350 p., 1994.
- VIEIRA, A.J.1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro sul de São Paulo. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 27, Aracaju, 1973. Anais, Aracaju, SBG. V. 3, p. 259-77.
- VIEIRA S.R.S.S. 1996. Estudo de processos metamórfico-metassomáticos nos Complexos Embú e Pilar, no Bloco Juquitiba, SP. São Paulo, IGc-USP, **Dissertação de Mestrado**, 144 p.
- VLACH S.R.F. 2001. Microprobe monazite constraints for an early (ca. 790 Ma) Brasiliano orogeny: The Embú Terrane, Southeastern Brazil. In: SERNAGEOMIN, Simposio Sudamericano en Geología Isotópica, 3, Pucón, 2001. Extended Abstracts..., Pucón, p. 265-268. (CD-ROM).
- WON, I. J. & M. BEVIS. Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon: Algorithms and Fortran subroutines. *Geophysics*, v.52. n.2, p. 232-238, 1987.

Estação	X	Y	Elevação	Hora	Leitura (mGals)
18/6/2009					
1	159247.0	7339935.0	694,089	08:56	2272.018
2	158577.0	7339204.0	688,192	09:02	2273.543
3	158004.0	7338416.0	691,420	09:08	2272.551
4	157197.0	7337854.0	698,341	09:13	2272.100
5	156512.0	7337163.0	725,940	09:27	2267.531
6	156000.0	7336320.0	745,685	09:36	2265.097
7	155491.0	7335475.0	780,895	09:44	2259.604
8	154599.0	7335110.0	777,438	09:51	2261.170
9	153645.0	7334871.0	782,049	09:55	2260.810
10	152817.0	7334347.0	783,800	10:01	2262.769
11	152055.0	7333714.0	794,234	10:09	2264.041
12	151358.0	7333032.0	745,661	10:16	2275.873
13	150727.0	7332272.0	730,704	10:21	2279.021
14	150310.0	7331421.0	762,024	10:25	2274.433
15	149905.0	7330508.0	788,533	10:38	2270.430
16	149345.0	7329807.0	791,689	10:44	2271.763
17	149157.0	7328922.0	784,073	10:50	2274.535
18	149367.0	7327950.0	806,631	10:55	2274.534
19	149051.0	7327129.0	783,775	11:01	2282.240
20	148471.0	7326315.0	816,533	11:07	2277.226
21	147900.0	7325644.0	835,399	11:14	2275.880
22	147155.0	7325146.0	817,639	11:20	2279.371
23	146416.0	7324955.0	810,708	11:27	2280.100
24	145571.0	7325401.0	785,923	11:34	2280.540
25	144643.0	7325461.0	734,314	11:38	2290.288
26	144466.0	7324701.0	702,567	11:46	2297.052
27	144419.0	7323859.0	732,389	11:53	2293.238
28	144140.0	7323451.0	736,701	11:58	2293.303
29	143823.0	7322799.0	762,993	12:04	2290.760
30	143672.0	7321976.0	745,295	12:11	2294.819
31	143399.0	7321313.0	801,405	12:18	2284.652
32	142874.0	7320690.0	845,198	12:24	2276.580
33	142516.0	7320891.0	828,383	12:30	2279.609
34	141810.0	7320621.0	787,343	12:36	2288.750
35	141014.0	7320612.0	733,801	13:50	2299.404
36	140400.0	7320089.0	723,985	13:57	2301.549
37	139984.0	7320164.0	774,723	14:03	2291.382
38	139108.0	7319831.0	790,956	14:09	2289.289
39	138430.0	7319401.0	825,966	14:16	2281.475
40	138054.0	7318474.0	858,033	14:21	2275.729
41	137380.0	7317849.0	848,347	14:30	2278.558

42	136939.0	7317099.0	854,813	14:37	2276.172
43	136425.0	7316513.0	915,307	14:44	2264.112
44	135633.0	7316175.0	910,271	14:48	2264.922
45	134771.0	7316055.0	919,780	14:54	2261.622
46	134740.0	7315185.0	897,089	15:01	2267.211
47	135057.0	7314528.0	852,419	15:08	2277.971
48	135173.0	7313710.0	804,707	15:15	2288.768
49	134771.0	7312902.0	806,565	15:21	2289.350
50	134225.0	7312130.0	842,342	15:27	2281.341
51	133517.0	7311575.0	852,348	15:32	2279.849
52	132810.0	7310824.0	832,756	15:37	2283.691
53	132476.0	7309915.0	853,956	15:43	2280.924
54	132673.0	7308082.0	857,567	15:49	2280.547
55	132271.0	7307365.0	858,176	15:55	2280.761
56	132298.0	7306418.0	844,990	16:02	2283.974
57	132714.0	7305775.0	833,153	16:07	2287.611
58	133380.0	7305010.0	883,505	16:13	2277.502
59	133137.0	7304213.0	900,905	16:23	2273.887
60	132630.0	7303308.0	890,573	16:30	2276.698
61	132224.0	7302507.0	903,011	16:35	2274.122
62	132012.0	7301570.0	890,592	16:43	2279.175
63	131703.0	7300678.0	894,567	16:48	2277.490
64	131253.0	7299954.0	869,586	16:53	2282.752
65	130969.0	7298990.0	863,099	16:58	2283.391
66	130898.0	7298010.0	865,066	17:04	2281.059
67	130481.0	7297166.0	871,043	17:10	2279.767
68	130004.0	7296358.0	873,705	17:18	2280.125
69	129272.0	7295750.0	870,493	17:23	2281.600
70	128777.0	7294979.0	865,945	17:29	2283.020
19/6/2009					
71	128063.0	7294521.0	858,966	10:01	2286.161
72	127333.0	7293922.0	867,819	10:07	2283.229
73	126820.0	7293326.0	875,998	10:14	2279.964
74	126274.0	7292587.0	885,821	10:25	2277.111
75	125638.0	7291843.0	894,094	10:32	2276.843
76	124991.0	7291292.0	882,702	10:41	2280.665
77	123972.0	7291370.0	880,495	10:47	2281.271
78	123261.0	7290835.0	890,488	10:53	2278.162
79	122520.0	7290355.0	876,887	10:58	2281.547
80	121690.0	7290038.0	889,729	11:09	2278.395
81	120770.0	7289655.0	863,258	11:15	2282.210
82	120107.0	7289040.0	866,776	11:21	2283.030
83	119464.0	7288355.0	875,764	11:28	2281.693

84	118510.0	7288280.0	885,099	11:35	2277.695
85	117621.0	7287881.0	869,969	11:41	2281.748
86	116885.0	7287466.0	873,329	11:48	2279.485
87	116411.0	7286623.0	887,421	11:52	2276.485
88	115675.0	7286026.0	916,217	11:58	2269.265
89	115134.0	7285275.0	937,152	12:03	2265.549
90	114358.0	7284701.0	962,698	12:10	2260.500
91	113642.0	7284011.0	976,881	12:15	2256.802
92	112846.0	7283394.0	924,015	12:23	2267.765
93	112097.0	7282877.0	891,493	12:29	2275.220
94	111297.0	7282448.0	871,793	12:34	2280.688

	<p>CNPq - OBSERVATÓRIO NACIONAL</p>	<p>DEPARTAMENTO DE GEOF IC: 978835,79</p>
<p>NÚMERO DA ESTAÇÃO 121382 /40149 B STATION NUMBER</p>	<p>PAÍS BRASIL COUNTRY</p>	<p>NOME DA ESTAÇÃO RIBEIRA "B" STATION NAME</p>
<p>Alt.: 167,63 m</p>	<p>Lat.: 24° 39' 21" S</p>	<p>Long.: 49° 00' 23" W</p>
<p>PROVINCIA OU ESTADO <u>SÃO PAULO</u> PROVINCE OR STATE</p> <p>ESTABELECIDADA POR <u>OBSERVATÓRIO NACIONAL</u> ESTABLISHED BY</p> <p>DATA DA ÚLTIMA REVISÃO <u>MARÇO DE 1982</u> DATE OF LAST REVISION</p> <p>OUTRA DESIGNAÇÃO _____ OTHER DESIGNATION</p>		
<p>Gravímetro situado sobre a placa do O.N., cravada na soleira da Igreja do Bom Jesus, no lado esquerdo / de quem entra pela porta principal, no ângulo formado pela parede e a / porta.</p>		
