UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005305

AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA
DE UM TRATO OCIDENTAL DO PRÉ-CAMBRIANO
PAULISTA

Francisco José Fonseca Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Benjamim Bley de Brito Neves

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. B.B.B.Neves	
Examinadores:	Dr. N.Ellert	
	Dr. L.Rijo	
	Dr. F.P.de Miranda	
	Dr. W.Shukowsky	

SÃO PAULO
1991

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA
DE UM TRATO OCIDENTAL DO PRÉ-CAMBRIANO PAULISTA**

Francisco José Fonseca Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Benjamin Bley de Brito Neves

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**São Paulo
1991**

À Lucas, Pedro,
Matheus e Manuela
pelas privações inconscientes

SUMÁRIO

TEXTO	i
FIGURAS	iii
TABELAS	v
ANEXOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
AGRADECIMENTOS	ix

TEXTO

1 Introdução	01
1.1 Objetivos e Localização da Área	01
1.2 Organização do Trabalho	03
1.3 Fontes de Informação Geofísica e Metodologia	03
2 Trabalhos Anteriores e Trabalhos Utilizados	05
3 Metodologia Aerogamaespectrométrica	06
3.1 Considerações Básicas	06
3.2 Características da Radiação Gama	12
3.3 Procedimentos Operacionais	23
3.3.1 O Sistema Aéreo	23
3.3.2 Radiação de Fundo Atmosférico	23
3.3.3 Efeito Compton	26
3.3.4 Correção Altimétrica	29
3.3.5 Conversão para concentrações superficiais	29
3.3.6 Outros fatores que influenciam as medidas	31
4 Gamaespectrometria Terrestre	35
4.1 Suíte Intrusiva de Itu	35
4.2 Levantamento gamaespectrométrico terrestre	39
4.3 Elaboração e análise dos mapas de contorno de K, U, Th, das razões U/K, U/Th e Th/K além do parâmetro F	42
4.4 Discussão dos resultados obtidos	52
5 Aerogamaespectrometria Local	55
5.1 Considerações Básicas	55
5.2 Correções Aerogamaespectrométricas	56
5.2.1 Redução do ruído de fundo atmosférico	56
5.2.2 Correção do Efeito Compton	56
5.2.3 Correção Altimétrica	57
5.3 Elaboração dos mapas de contorno de K, U, Th, das razões U/K, U/Th e Th/K além do parâmetro F da Suíte Intrusiva de Itu	58
5.4 Análise dos mapas aéreos e terrestres da Suíte Intrusiva de Itu	61

5.5 Comparação numérica entre os dados gamaespectrométricos terrestres e aéreos da Suíte Intrusiva de Itu	77
5.6 Maciços Sorocaba, São Francisco e Morungaba	83
5.6.1 Dados geológicos gerais.....	83
5.6.2 Respostas aerogamaespectrométricas dos maciços Sorocaba, São Francisco e Morungaba.....	88
5.6.2.1 Maciço Sorocaba	88
5.6.2.2 Maciço São Francisco	92
5.6.2.3 Maciço Morungaba.....	92
5.6.3 Discussão dos resultados obtidos.....	97
6 Aerogamaespectrometria Regional	100
6.1 Geração das malhas e dos mapas de contorno.....	100
6.2 Integração dos dados aerogamaespectrométricos e geológicos	104
6.2.1 Domínio Embu.....	105
6.2.2 Domínio São Roque.....	108
6.2.3 Domínio Jundiá.....	111
6.2.4 Domínio Amparo	112
6.2.5 Domínio Guaxupé.....	113
6.2.6 Domínio Bacia do Paraná.....	115
7 Aeromagnetometria.....	116
7.1 Correções Aeromagnetométricas.....	116
7.1.1 Correção da variação diurna	116
7.1.2 Distribuição dos erros - nivelamento magnético.....	116
7.1.3 Redução do campo geomagnético (IGRF)	117
7.2 Geração da malha e do mapa de contorno	118
7.3 Interpretação Qualitativa - Bases Teóricas	119
7.3.1 Análise Espectral.....	123
7.3.2 Separação Regional-Residual.....	124
7.3.2.1 Filtro Gaussiano.....	124
7.3.2.2 Filtro Passa-Baixa	126
7.3.2.3 Filtro Continuação para Cima.....	126
7.3.3 Filtro Redução ao Pólo	127
7.3.4 Susceptibilidade magnética aparente	128
7.4 Integração dos dados aeromagnetométricos e geológicos	130
7.4.1 Domínio Embu.....	130
7.4.2 Domínio São Roque.....	132
7.4.3 Domínios Faixa Alto Rio Grande e Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé	132
7.4.4 Domínio Bacia do Paraná.....	139
8 Integração geral dos dados aerogeofísicos e geológicos : principais conclusões.....	140
Referências Bibliográficas	143

FIGURAS

1 Mapa de localização do área do Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro, indicando a área estudada.....	02
2 Espectro típico da radioatividade natural.....	09
3 Porcentagem da radiação gama total detetada de áreas circulares com diferentes diâmetros para o K, U e Th a uma altura de 120m.....	15
4 Distribuição da energia do fluxo de fótons produzido por 1% de K disseminado em areia, imersa em 20cm de água.....	16
5 Distribuição da energia do fluxo de fótons produzido por 1ppm de U disseminado em areia, imersa em 20cm de água.....	17
6 Distribuição da energia do fluxo de fótons produzido por 1ppm de Th disseminado em areia, imersa em 20cm de água.....	18
7 Distribuição da energia do fluxo de fótons e da componente <i>skyshine</i> tomada a 1m acima de um granito típico.....	20
8 Distribuição angular de um fluxo de raios gama a uma altura de 1m.....	21
9 Porcentagem da radiação gama total detetada a partir de áreas com diferentes diâmetros, em função do volume do detetor.....	22
10 Espectro típico da radiação gama tomado a 120-m de altura.....	24
11 Espectro da radiação cósmica.....	25
12 Médias mensais da concentração do Rn^{222} em Cincinnati, medidos pela manhã (8:00hs) e a tarde (15:00hs).....	27
13 Representação esquemática da interação entre as janelas de energia do K, U e Th....	28
14 Variação do K com a altura da aeronave.....	30
15 Quatro tipos de geometria fonte-sensor verificadas em levantamentos terrestres.....	33
16 O efeito da geometria da fonte e da distância sensor-fonte sobre as medidas em levantamentos aéreos.....	34
17 Mapa geológico esquemático das associações granitóides pertencentes ao <i>Itu belt</i> (parte leste).....	36
18 Mapa geológico simplificado da Suíte Intrusiva de Itu.....	38
19 Mapa de pontos gamaespectrométricos da Suíte Intrusiva de Itu.....	41
20 Mapa de contorno do K (gamaespectrometria).....	45
21 Mapa de contorno do U (gamaespectrometria).....	46
22 Mapa de contorno do Th (gamaespectrometria).....	47
23 Mapa de contorno da razão U/K (gamaespectrometria).....	48
24 Mapa de contorno da razão U/Th (gamaespectrometria).....	49
25 Mapa de contorno da razão Th/K (gamaespectrometria).....	50
26 Mapa de contorno do parâmetro $F = K.U/Th$ (gamaespectrometria).....	51
27 Gráfico representativo da atenuação atmosférica.....	59
28 Mapa geral de pontos aerogamaespectrométricos da Suíte Intrusiva de Itu.....	60
29 Mapa de contorno do K (aerogamaespectrometria).....	62
30 Mapa de contorno do U (aerogamaespectrometria).....	63
31 Mapa de contorno do Th (aerogamaespectrometria).....	64
32 Mapa de contorno da razão U/K (aerogamaespectrometria).....	65
33 Mapa de contorno da razão U/Th (aerogamaespectrometria).....	66
34 Mapa de contorno da razão Th/K (aerogamaespectrometria).....	67
35 Mapa de contorno do parâmetro $F = K.U/Th$ (aerogamaespectrometria).....	68

36	Mapa de pontos aerogamaespectrométricos selecionados da Suíte Intrusiva de Itu.....	69
37	Mapa de contorno do K (aerogamaespectrometria).....	70
38	Mapa de contorno do U (aerogamaespectrometria)	71
39	Mapa de contorno do Th (aerogamaespectrometria).....	72
40	Mapa de contorno da razão U/K (aerogamaespectrometria)	73
41	Mapa de contorno da razão U/Th (aerogamaespectrometria).....	74
42	Mapa de contorno da razão Th/K (aerogamaespectrometria).....	75
43	Mapa de contorno do parâmetro $F = K.U/Th$ (aerogamaespectrometria).....	76
44	Regressão linear entre contagens por segundo (cps) e porcentagem (%) de K na Suíte Intrusiva de Itu	79
45	Regressão linear entre contagens por segundo (cps) e porcentagem (%) de Th na Suíte Intrusiva de Itu	80
46	Regressão linear entre contagens por segundo (cps) e porcentagem (%) de U na Suíte Intrusiva de Itu	81
47	Perfis medidos através da gamaespectrometria aérea e terrestre na área de Brancroft, Escudo Canadense	82
48	Mapa geológico dos maciços Sorocaba (1), São Francisco (2) e Pirapora (3).....	85
49	Mapa geológico das partes meridional e oriental do maciço de Morungaba	87
50	Mapa das variações dos níveis de radiação do K para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora	89
51	Mapa das variações dos níveis de radiação do U para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora	90
52	Mapa das variações dos níveis de radiação do Th para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora	91
53	Mapa das variações dos níveis de radiação do K para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba	93
54	Mapa das variações dos níveis de radiação do U para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba	95
55	Mapa das variações dos níveis de radiação do Th para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba	96
56	Representação esquemática dos dois procedimentos básicos utilizadas pelo método bidirecional de geração de malhas	101
57	Comparação entre os métodos de interpolação <i>cubic spline</i> e <i>Akima spline</i>	102
58	Mapa geológico simplificado da região Piedade-Ibiúna, com ênfase nas rochas granitóides	107
59	Tipos de zircão característicos para as diferentes séries granitóides.....	109
60	Mapa geológico simplificado da região Pinhal-Ipuiúna	114
61	Espectro de potência dos dados aeromagnéticos da área estudada	125
62	Mapa de interpretação aeromagnética qualitativa.....	131
63	Mapa tectônico simplificado do sudoeste de Minas Gerais e leste de São Paulo.....	133

TABELAS

1 Coeficientes de atenuação de massa e <i>half thickness</i> de várias energias de raios gama no ar, água e concreto	08
2 A série de decaimento do U^{238}	11
3 A série de decaimento do Th^{232}	11
4 Porcentagem de detecção da radiação gama originária de áreas circulares abaixo do ponto de medida, a uma altura de 120m	14
5 Contribuições devidas ao K, U e Th para uma exposição de 1cm acima do solo.....	14
6 Espectro das larguras das janelas.....	14
7 Características gerais dos granitóides pertencentes ao <i>Itu belt</i> (parte leste).....	37
8 Fatores de calibração e razões de <i>stripping</i>	40
9 Médias para os corpos graníticos da Suíte Intrusiva de Itu obtidas através de gamaespectrometria terrestre.....	40
10 Médias para os corpos graníticos da Suíte Intrusiva de Itu obtidas através de gamaespectrometria de laboratório	40
11 Características gerais dos granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Pilar do Sul/Piedade	106
12 Propriedades magnéticas de rochas do embasamento cristalino.....	135
13 Comparação entre as medidas de susceptibilidade magnética em rochas e as susceptibilidades aparentes calculadas a partir de dados aeromagnéticos residuais	138

ANEXOS

- I Mapa de Contorno do K
- II Mapa de Contorno do U
- III Mapa de Contorno do Th
- IV Mapa de Contorno da Contagem Total
- V Mapa de Contorno da Razão K/Th
- VI Mapa de Contorno da Razão K/U
- VII Mapa de Contorno da Razão U/Th
- VIII Mapa de Contorno do Parâmetro $F = K.U/Th$
- IX Mapa de Contorno do Campo Aeromagnético Residual
- X Mapa de Contorno da Filtragem Gaussiana Regional
- XI Mapa de Contorno da Filtragem Passa-Baixa
- XII Mapa de Contorno da Continuação Para Cima - 1000m
- XIII Mapa de Contorno da Continuação Para Cima - 2000m
- XIV Mapa de Contorno da Continuação Para Cima - 5000m
- XV Mapa de Contorno da Redução ao Pólo
- XVI Mapa de Contorno da Susceptibilidade Magnética Aparente
- XVII Mapa Geológico Esquemático

RESUMO

Neste trabalho foram processados dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos corrigidos, distribuídos em área aproximada de 20.000km^2 entre São Paulo e Pirassununga (SP), limitada pelas seguintes coordenadas: $47^{\circ}30'/22^{\circ}00'$; Div.SP-MG/ $22^{\circ}00'$; $46^{\circ}30'/\text{Div.SP-MG}$; $46^{\circ}30'/23^{\circ}45'$; $47^{\circ}30'/23^{\circ}45'$. As linhas de vôo foram espaçadas de 1km, perfazendo cerca de 21.000km de perfis. As medidas foram tomadas a cada 100m e a uma altura média constante sobre o terreno de 150m. Nos capítulos pertinentes à aerogamaespectrometria foram gerados e geologicamente interpretados mapas de contorno de K, U, Th, U/Th, K/U, K/Th e $F = K.U/\text{Th}$, todos em escala 1:500.000. Inclui também comparações, visual e numérica, entre dados de espectrometria gama terrestres e aéreos da Suíte Intrusiva de Itu, em escala 1:200.000; além de correlações entre informações aerogamaespectrométricas e geológicas de alguns maciços granitóides como Sorocaba, São Francisco e Morungaba, os quais possuem mapeamentos faciográficos. Em relação à aeromagnetometria, foi elaborada uma interpretação qualitativa a partir dos produtos da aplicação de diversos filtros como gaussiano, passa-baixa, continuação para cima, redução ao pólo e susceptibilidade magnética aparente bem como uma tentativa preliminar e simplificada de integração com dados geológicos disponíveis. Os principais resultados obtidos foram os seguintes: 1) a comparação entre dados aerogamaespectrométricos e geológicos, a níveis de semidetalhe (1:50.000), das suítes granitóides de Itu, Sorocaba, São Francisco e Morungaba mostrou-se satisfatória no que diz respeito à individualização de corpos; discriminação de segmentos distintos e/ou unidades de mapeamento; relações entre os padrões de zonalidade das fácies e a distribuição dos níveis de radiação de K, U e Th. 2) Em geral, foram sugeridas, a partir dos dados aerogamaespectrométricos, aeromagnetométricos e do cotejo com informações geológicas, classificações para as rochas granitóides segundo as principais proposições correntes na literatura internacional. 3) A partir da parametrização aeromagnética dos terrenos pré-cambrianos expostos, foi possível inferir o arcabouço tectônico do embasamento oculto sob sedimentos e lavas da Bacia do Paraná, baseado nos diversos mapas filtrados. Outro aspecto interessante foi a definição de uma borda tectônica da bacia, na área estudada, que, além de condicionar o *emplacement* dos granitóides pertencentes ao *Itu belt*, pode ter, uma vez reativada, influenciado a sedimentação nessa bacia. 4) Finalmente mostrou-se que os métodos utilizados constituem importantes ferramentas de trabalho, os quais podem contribuir para o conhecimento dos granitóides e do arcabouço tectônico assim como para o estudo de suas potencialidades metalogenéticas.

ABSTRACT

This work includes processing and interpretation of airborne spectrometric and magnetometric data of a 20,000km² area between the cities of São Paulo and Pirassununga (São Paulo state, Brazil), limited by the following coordinates: 47°30'W/22°00'S; SP-MG boundary/22°00'S; 46°30'W/SP-MG boundary; 46°30'W/23°45'S; 47°30'W/23°45'S. The space between flight line was 1km and the total length of profiles was 21,000km. The sampling interval along profiles was 100m and terrain clearance was approximately constant and equal to 150m. Spectrometric maps were produced and interpreted, showing isorad curves for K, U and Th channels, U/Th, K/U and K/Th ratios, and $F = K.U/Th$; the common scale was 1:500,000. Visual and numerical comparisons were presented between ground and airborne spectrometric data of Itu Intrusive Suite at scale 1:200,000, and correlations were made between spectrometric and geological data of some granitoids as Sorocaba, São Francisco and Morungaba. As for magnetometry, a qualitative interpretation was carried, based on the products of a variety of filtering processes as gaussian, low-pass, upward continuation, reduction-to-the pole and apparent magnetic susceptibility, as a preliminar and simplified trial of integration with available geological data. Main results are the following ones: 1) a comparison between spectrometric and geological data at scale 1:50,000 of Itu, Sorocaba, São Francisco and Morungaba granitoids showed satisfactory individualization of the bodies, discrimination of different sectors and/or mapping units and relations between facies zonality patterns and distribution of radioactivity levels of K, U and Th channels; 2) airborne spectrometric and magnetometric data compared with geological data generally suggest classifications for granitoid rocks following main current proposals of international literature; 3) on the basis of magnetometric features of outcropping Precambrian terrains and with the help of filtered maps, it was possible to induce the tectonic framework of the basement complex covered by sediments and lavas of Paraná Basin, with the help of filtered maps. Another interesting aspect was the definition of the tectonic border of this basin inside the studied area, which not only controlled the localization of Itu belt granitoids, but also may have affected the sedimentation in the basin by reactivation processes; 4) Finally it was shown that used methods are important mapping tools, which may contribute for the knowledge of the granitoids and the tectonic framework and for the study of metallogenic potential.

AGRADECIMENTOS

Seria praticamente impossível agradecer a todas as pessoas que de uma forma ou outra colaboraram com o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao Prof.Dr. Benjamim Bley de Brito Neves pelos vários anos de convívio estimulante, muitas discussões e espírito de companheirismo.

Ao Prof.Dr. Chang Hung Kiang do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES), da Petróleo Brasileiro S.A. - **Petrobrás**, o convite para desenvolver o presente exercício, no âmbito dessa instituição, através da concessão de uma bolsa de estudos. Também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro outorgado durante seis meses.

Ao Prof.Dr. Marco Polo Pereira da Boa Hora do Setor de Métodos Potenciais (**Semepo**), do Departamento de Exploração (**Depex**), da **Petrobrás**, pela disponibilidade e pelo processo de discussão permanente, o qual possibilitou ao autor, dentre outras experiências, uma certa familiaridade com parte do sistema de processamento de dados geocientíficos e de cartografia digital, instalado naquele departamento. Entretanto, o treinamento amíúde dependeu da efetiva participação de diversas pessoas como Sérgio Luiz da Silva Quintão, Paulo Márcio Gonzaga, Marcos de Barros Muniz, Benedito Souza Gomes, Frederico Augusto Varejão Marinho, Eduardo Machado de Souza Araújo, Luiz Fernando Santana Braga, Jorge Inácio dos Anjos, Delano Luiz Pinto de Aguiar, Marly Peres, César Fraga de Oliveira, Adelino Teixeira Dias, Orlando Aquino de Lima, além de Edgard Liandrat pelas profícuas discussões e leitura crítica do manuscrito e *abstract*. Dentro desse contexto, agradeço a Rubens Nascimento dos Santos, Francisco Fábio de Araújo Ponte, Ricardo Freitas Alves, Oscar José Bernardes Neto, Luiz Eduardo Seabra Varella e Benito Leonízio Fuschilo, todos do Setor de Programação e Análise (**Sepran**), do **Depex**, pela cordialidade e participação nas diversas fases de tratamento dos dados. A Roberto Alexandre Vitória de Moraes pelas várias sugestões durante o processamento das informações aeromagnetométricas.

Aos Drs. Carlos Oiti Berbert do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e Ricardo Moacyr de Vasconcellos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pela cessão dos dados aerogeofísicos e incentivo durante a elaboração do trabalho. Também à Superintendência Regional de São Paulo da CPRM, pelo efetivo apoio recebido de Luiz Sguissard do Carmo, Cássio Roberto da Silva, Luiz Antônio Chieragati, Roylane Barbosa, José Peres Algarte, Armando Teruo Takahashi, José Carlos Garcia e, especialmente, ao geofísico José de Ribamar Lopes Bezerra pelo incentivo e várias discussões.

Aos Profs.Drs. Gilberto Amaral e Elisabete Maria Pascholati, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-UNICAMP), pela disponibilidade, decidido apoio, solidariedade, participação em diversas fases do trabalho, cessão dos dados gamaespectrométricos terrestres e leitura crítica do texto. Também ao Prof.Dr. Álvaro Pentecado Crósta pela salutar reciclagem dos relacionamentos pessoal e científico.

Aos Profs.Drs. Valdecir de Assis Janasi, Sílvio Roberto Farias Vlach e Mário da Costa Campos Neto, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), pela importante colaboração no cotejo das informações geológicas, interpretação dos dados aerogeofísicos e leitura crítica do texto.

À Marta Rosane da Rocha Netto Batista e Márcia Lúcia de Lima Corrêa pela colaboração, paciência e dedicação na digitação do texto e tabelas, respectivamente.

À Eliane Maria da Silva Quintão pela amizade e cuidadosa revisão do manuscrito. Também a Leonel Dorotheu Quintão, Maria Aparecida da Silva Quintão, Sérgio Luiz da Silva Quintão e Marcelo Leonel da Silva Quintão pela carinhosa acolhida.

À Jorge Luiz da Cunha pela digitalização de algumas ilustrações e a José Carlos de Gouvêa e Ricardo Yoiti Shimamoto pela elaboração das demais figuras.

Às Profas.Dras. Naomi Ussami, Márcia Ernesto e Maria Irene Bartolomeu Raposo, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP), pela confiança depositada.

Finalmente, mas não por último, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, entidade na qual o autor exerceu suas atividades por mais de 10 anos e a quem deve parte de sua formação profissional, construída através da livre interação com pesquisadores, companheiros e amigos, sobretudo, dos agrupamentos de geofísica e geologia geral.

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Apesar de grande parte do território brasileiro ser contemplada por coberturas aerogeofísicas, muito pouco tem sido feito no sentido de divulgar esse imenso acervo de dados e explorar adequadamente sua aplicabilidade em geociências.

Os levantamentos aerogeofísicos no Brasil, concentrados sobremaneira durante os anos 70, em terrenos pré-cambrianos, normalmente registraram informações magnetométricas e gamaespectrométricas, e os produtos finais são representados, frequentemente, na forma de mapas de contorno do campo magnético residual e da contagem total.

O Pré-Cambriano ocidental do Estado de São Paulo encontra-se praticamente coberto pelo Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro. O levantamento foi executado durante os anos de 1978 e 1979 pela ENCAL S.A. - Consultoria e Aerolevantamentos e os dados foram corrigidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em 1988.

O objetivo principal desse trabalho foi processar os dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos, gerar mapas geofísicos temáticos regionais e proceder uma tentativa preliminar e simplificada de integração geofísico-geológica, com ênfase nos maciços granitóides e no arcabouço tectônico, de um trato ocidental do Pré-Cambriano do Estado de São Paulo.

Por este estudo ter constituído o primeiro contato do autor com informações aerogamaespectrométricas discriminadas, o exercício foi mais voltado para a resolução do método, em confronto com informações geofísicas terrestres da mesma natureza e geológicas em níveis de semidetalhe e regional, do que, a partir dessas mesmas informações, tentar contribuir significativamente para o conhecimento geológico das áreas sobrevoadas.

A partir dessa premissa, foi selecionada uma área do Pré-Cambriano do Estado de São Paulo que reunisse o maior número de informações geológicas, publicadas ou inéditas, representadas através de mapeamentos geológicos de semidetalhe e regionais.

A área objeto do estudo, indicada na Figura 1, é delimitada pelas seguintes coordenadas:

	Longitude W	Latitude S
A	47°30'	22°00'
B	Div.SP-MG	22°00'
C	46°30'	Div.SP-MG
D	46°30'	23°45'
E	47°30'	23°45'

Figura 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO AEROGEOFÍSICO SÃO PAULO - RIO DE JANEIRO, INDICANDO A REGIÃO ESTUDADA (modificado de Anjos e Mourão, 1988).

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em cinco segmentos principais:

- no primeiro, foi efetuada uma revisão condensada dos princípios da espectrometria gama, voltada para a aplicação em levantamentos aéreos;
- no segundo, foi procedida uma comparação, visual e numérica, entre dados gamaespectrométricos terrestres e aéreos da Suíte Intrusiva de Itu. Também foram relacionados dados geofísicos e geológicos de alguns maciços granitóides com mapeamentos faciológicos como os de Sorocaba, São Francisco e Morungaba;
- no terceiro, a partir da compilação de mapa geológico atualizado, foi realizada uma tentativa preliminar e simplificada de integração de todos os dados aerogamaespectrométricos e geológicos da área;
- no quarto, foi elaborada uma interpretação qualitativa dos dados aeromagnetométricos, a partir dos produtos da aplicação de diversos filtros como gaussiano, passa-baixa, continuação para cima, redução ao pólo, susceptibilidade magnética aparente e integração geológica simplificada;
- no quinto e último, foram desenvolvidas breves considerações finais sobre a integração geral dos dados aerogeofísicos e geológicos.

1.3 FONTES DE INFORMAÇÃO E METODOLOGIA

As principais fontes de informação geofísica foram as seguintes:

- dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos do Projeto São Paulo - Rio de Janeiro, Parte I - São Paulo, processados e corrigidos por Anjos e Mourão (1988) e gentilmente fornecidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), com a devida autorização do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM);
- dados gamaespectrométricos terrestres processados e corrigidos da Suíte Intrusiva de Itu, gentilmente cedidos por E.M.Pascholati e ainda parte integrante de sua Tese de Doutorado (Pascholati 1990).

A metodologia utilizada pode assim ser resumida:

- implantação dos dados no sistema computacional do Departamento de Exploração (Depex) da Petrobrás, no Rio de Janeiro;

O sistema é constituído essencialmente de um supercomputador IBM modelo 3090/600J, com seis processadores vetoriais, estações gráficas do tipo IBM 5080 e dois

plotters eletrostáticos coloridos *on line* de 36 polegadas VERSATEC, modelos CE 3236, além de terminais IBM 3278.3 e de uma impressora LASER IBM 3800-3.

- geração das malhas de dados terrestres e aéreos;

Foram utilizados basicamente dois métodos para a geração das malhas terrestres e aéreas, em função da distribuição planimétrica dos dados. Assim, para as informações terrestres, foi empregado um método de interpolação cuja ponderação é calcada no inverso da distância (veja item 4.3), enquanto para as aéreas aplicou-se um método bidirecional de geração de malhas (veja item 6.1).

- interpretação aeromagnética qualitativa;

Para desenvolver a interpretação aeromagnética qualitativa foi utilizado um conjunto de programas de filtragem, cujo detalhamento deve ser remetido ao Capítulo 7.

- elaboração e edição dos mapas de contorno;

Para a elaboração e edição dos mapas de contorno, foram empregados sistemas e programas proprietários da **Petrobrás**, disponíveis aos usuários. Foram produzidos 21 mapas de contorno, em escala 1:200.000, da Suíte Intrusiva de Itu; 8 mapas em escala 1:500.000 referentes aos dados aerogamaespectrométricos e igual número pertinente ao tratamento das informações aeromagnetométricas.

- compilação de mapa geológico;

Para a compilação do mapa geológico, procurou-se reunir informações atualizadas, com ênfase para as rochas granitóides. Assim, tomou-se como base o mapa de Janasi e Ulbrich (1985), em escala 1:500.000, procedendo-se atualizações a partir dos trabalhos de Janasi *et al.* (1990) e Vasconcellos e Janasi (1989), ambos nessa escala. A compartimentação em grandes unidades foi baseada no mapa ao milionésimo de Campos Neto e Vasconcellos (1986). Já as informações relativas à Bacia do Paraná foram extraídas do mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT 1981), também na escala 1:500.000.

2 TRABALHOS ANTERIORES E TRABALHOS UTILIZADOS

Diversos são os trabalhos existentes na literatura geológica que versam sobre a área estudada ou que a incluem. Não é objetivo desse capítulo elaborar uma síntese do conhecimento geológico e geofísico do Pré-Cambriano e dos terrenos sedimentares da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, uma vez que essa tarefa já foi desenvolvida, em parte, no exame de qualificação do autor (Ferreira 1987a,b). Entretanto, sínteses bastante completas sobre a geologia pré-cambriana podem ser encontradas em Artur (1988), Vasconcellos (1988) e sobre a Bacia do Paraná em Zalán *et al.* (1990).

Neste exercício foram tomados como base essencialmente os trabalhos de Janasi e Ulbrich (1985), Vlach (1985 e 1989), Wernick e Galembeck (1986), Vasconcellos e Janasi (1989), Godoy (1989), Vlach *et al.* (1990), Janasi *et al.* (1990), Wernick (1990) e Wernick *et al.* (1990) sobre os granitóides, e o de Campos Neto e Vasconcellos (1986) sobre a geologia da área, além do mapa geológico do Estado de São Paulo (IPT 1981).

A bibliografia geofísica básica dos temas envolvidos (aerogamaespectrometria e aeromagnetometria) pode ser remetida a Bhattacharyya (1966), Spector e Grant (1970), Adams e Gasparini (1970), Grasty (1979), Killeen (1979), Bristow (1979), Darnley (1982), Mares (1984), Faure (1986), Darnley e Ford (1989) e vários livros-texto de introdução a geofísica.

3 METODOLOGIA AEROGAMAESPECTROMÉTRICA

3.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Existem três formas pelas quais as radiações se manifestam: partículas α e β e radiação γ . As partículas α são núcleos de He e são absorvidas por poucos centímetros de ar. As partículas β são elétrons e possuem maior poder de penetração no ar, ultrapassando 1m. Já a radiação γ é uma forma de radiação eletromagnética, semelhante aos raios X, sendo fortemente penetrativa. É caracterizada por uma faixa de frequências entre $3 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$ e $3 \times 10^{21} \text{ s}^{-1}$, apresentando, portanto, curtíssimos comprimentos de onda (10^{-11} a 10^{-13} m). Wulf (1910 *apud* Grasty 1979) mostrou que a radiação gama proveniente da superfície terrestre é capaz de ionizar o ar até alturas da ordem de 300m.

A absorção da radiação gama ocorre através de três processos distintos: efeito fotoelétrico, espalhamento e produção de par.

No efeito fotoelétrico, a energia do raio gama é completamente absorvida por um elétron periférico que é expelido do átomo, emitindo desse modo radiação beta, por meio da energia cinética $E = hv - E_b$, onde E_b é a energia do elétron, e $hv = hc/\lambda$ (onde h é a constante de Planck; c é a velocidade da luz e λ é o comprimento de onda), a energia do fóton incidente. É evidente que essa condição (ejeção de elétron) existe apenas quando a energia do fóton incidente for maior que E_b . (A absorção através do efeito fotoelétrico é predominante em condições de baixa energia, constatando-se, assim, que a mesma decresce rapidamente com o aumento da energia do fóton.) Para uma mesma energia, a absorção dos raios gama é, em geral, diretamente proporcional ao número atômico do material absorvente.

(O processo de espalhamento, conhecido como Efeito Compton, sucede quando um fóton de raio gama colide com um elétron, livre ou periférico. Nesse processo, parte da energia é absorvida, enquanto o fluxo de raios gama é espalhado a partir de um certo ângulo relacionado com a direção original de incidência. Como consequência da perda parcial de energia, o fóton espalhado é de baixa frequência, ou alto comprimento de onda, em relação ao fóton incidente.)

Na produção de par, geração de raios gama através de emissão de um par elétron-pósitron, a energia mínima exigida é de 1,02MeV, sendo necessário que o fóton incidente tenha energia igual ou superior a esse valor. Tal interação predomina em condições de alta energia, particularmente em materiais de grande número atômico (maior que 30). Tendo em vista que a maioria dos materiais objeto de medidas aerogamaespectrométricas (rochas, ar e a água) possui um número atômico baixo (aproximadamente entre 10 e 20), e também que a maioria da radiação gama é de baixa a média energia (menor que 2,62MeV), o espalhamento Compton é o processo predominante entre a fonte de radioatividade e o detector.

Caso uma radiação gama de intensidade I incida em uma camada absorvente de espessura dx , a quantidade de radiação absorvida dI será proporcional a dx e I , de forma que:

$$dI = -\mu I dx .$$

O fator de proporcionalidade, característico do meio, é conhecido como coeficiente de atenuação linear. No caso da intensidade I assumir o valor I_0 na presença de material não-absorvente, então:

$$I = I_0 e^{-\mu x} .$$

A espessura do material absorvente que reduz a intensidade da radiação pela metade, denominada meia-espessura ($X_{1/2}$), pode ser assim expressa:

$$X_{1/2} = \frac{\log e^2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu} .$$

Grasty (1979) apresenta (Tabela 1) as meias-espessuras bem como os índices de atenuação de massa de várias energias para a água, o ar e a rocha, baseado em Hubbell e Berger (1968). O coeficiente de atenuação de massa é o coeficiente de atenuação linear dividido pela densidade do material. Para aeronaves a alturas de 100m ou mais, a intensidade dos raios gama abaixo de 0,10Mev, emitidos por rochas ou solos na superfície, será consideravelmente reduzida e refletirá o predomínio do espalhamento Compton da radiação gama de alta energia. Assim, a radioatividade natural pode ser detectada a algumas centenas de metros da superfície, constituída de raios gama originários da superfície, ou de algumas dezenas de centímetros abaixo dela.

Todas as rochas e solos são radioativos e emitem radiação gama. As fontes dessa radiação são:

- K^{40} que representa 0,0117% do K total (os outros isótopos, K^{39} e K^{41} não são radioativos e representam respectivamente 93,2581% e 6,7302% do K total);
- produtos do decaimento do U^{238} (99,2743% do U total);
- produtos do decaimento do U^{235} (0,7200% do U total);
- produtos do decaimento do U^{234} (0,0057% do U total);
- produtos do decaimento do Th^{232} (100% do Th total).

A Figura 2 mostra os espectros da radiação gama para o K, o U e o Th, medidos por detector de NaI ativado a Tl.

Energia (Mev)	Coeficiente de Atenuação de Massa (cm ² /g)			Half Thickness ^a		
	Ar ^b	Água	Rocha ^c	Ar ^d (m)	Água (cm)	Rocha ^e (cm)
0,01	4,8200	4,9900	26,5000	1,11	0,139	0,01
0,10	0,1510	0,1680	0,1710	35,50	4,130	1,62
0,15	0,1340	0,1490	0,1400	40,00	4,650	1,98
0,20	0,1230	0,1360	0,1250	43,60	5,100	2,22
0,30	0,1060	0,1180	0,1070	50,60	5,870	2,59
0,40	0,0954	0,1060	0,0957	56,20	6,540	2,90
0,50	0,0868	0,0966	0,0873	61,80	7,180	3,18
0,60	0,0804	0,0894	0,0807	66,70	7,750	3,43
0,80	0,0706	0,0785	0,0708	75,90	8,830	3,92
1,00	0,0635	0,0706	0,0637	84,40	9,820	4,35
1,46	0,0526	0,0585	0,0528	102,00	11,800	5,25
1,50	0,0517	0,0575	0,0519	104,00	12,100	5,34
1,76	0,0479	0,0532	0,0482	112,00	13,000	5,75
2,00	0,0444	0,0493	0,0447	121,00	14,100	6,20
2,62	0,0391	0,0433	0,0396	137,00	16,000	7,00
3,00	0,0358	0,0396	0,0365	150,00	17,500	7,60

a) Espessura do material pela qual a intensidade do raio é reduzida pela metade do valor inicial;

b) 75% N; 23,2% O; 1,3% Ar por peso;

c) composição do concreto típico (Hubbel & Berger 1968);

d) para o ar a 0°C e 76cm de Hg com uma densidade de 0,001293 g/cm³

e) densidade do concreto de 2,5 g/cm³

Tabela 1 - Coeficientes de atenuação de massa e *half thickness* de várias energias de raios gama no ar, água e concreto.

(conforme Hubbell & Berger 1968, modificado de Grasty 1979).

FIGURA 2 - ESPECTRO TIPICO DA RADIOATIVIDADE NATURAL

(MODIFICADO DE BRISTOW 1979)

De acordo com Faure (1986), referenciando outros autores, o K^{40} decai de uma forma regular para o Ar^{40} e o Ca^{40} . O decaimento para o Ar^{40} ocorre através da emissão de pósitrons e da captura de elétrons, enquanto para o Ca^{40} , o processo envolve apenas emissão de partículas beta negativas.

No decaimento para o Ar^{40} , cerca de 11% dos átomos de K^{40} decaem por captura de elétrons e atingem um estado excitado de Ar^{40} , seguido da emissão de raios gama com energia de 1,46MeV (Figura 2). Aproximadamente 0,16% desses átomos decaem também por captura de elétrons diretamente para a forma estável de Ar^{40} , emitindo assim uma energia de 1,51MeV. A terceira parte, 0,001% dos átomos de K^{40} , decai por emissão de um pósitron (0,49MeV), seguido da sua eliminação através da liberação de 1,02MeV de energia.

Os decaimentos dos isótopos U^{238} , U^{235} , U^{234} e Th^{232} , por sua vez, revelam-se mais complexos. Todos os isótopos de U são radioativos e o Th^{232} existe primariamente apenas nessa forma, contudo é cerca de quatro vezes mais abundante que o U. Cinco isótopos do Th, não obstante, ocorrem na natureza como produtos intermediários dos decaimentos de U^{238} , U^{235} e Th^{232} .

O U^{238} decai para o Pb^{206} da seguinte forma:

onde $Q = 47,4\text{MeV}/\text{átomo}$, ou $0,71\text{cal/g/ano}$ e representa a soma das energias de decaimento de toda a série.

Os decaimentos dos demais isótopos podem ser assim indicados:

Dessa forma, os decaimentos de U^{238} , U^{235} e Th^{232} resultam nos seguintes isótopos estáveis: Pb^{206} , Pb^{207} e Pb^{208} , respectivamente.

As principais radiações gama acima de 100keV, emitidas pelo U^{238} e Th^{232} em equilíbrio com seus produtos de decaimento, são apresentadas, por exemplo, nas tabelas 10B.2 e 10B.3 de Smith e Wollenberg (1972 *apud* Grasty 1979, p. 149 e 150).

As tabelas 2 e 3 ilustram apenas as radiações α e β resultantes dos decaimentos do U^{238} e Th^{232} , respectivamente. Os decaimentos dos isótopos U^{235} e U^{234} não são indicados, visto que representam, respectivamente, 0,72 e 0,0057% do U total. No caso da Tabela 2, observam-se apenas 14 isótopos de elementos-filhos, uma vez que os produtos de decaimento, At^{218} , Rn^{218} , Tl^{210} e Tl^{206} , representam menos de 0,2%.

Como pode-se observar nas referidas tabelas, as meias-vidas do U^{238} e do Th^{232} são muito maiores que seus respectivos isótopos-filhos, o que satisfaz a condição do equilíbrio secular (veja item 3.3.6).

Isótopo	Radiação	Meia-Vida
U^{238}	α	$4,507 \times 10^9$ anos
Th^{234}	β	24,1 dias
Pa^{234}	β	1,18 meses
U^{234}	α	$2,48 \times 10^5$ anos
Th^{230}	α	$7,52 \times 10^4$ anos
Ra^{226}	α	1600 anos
Rn^{222}	α	3,825 dias
Po^{218}	α	3,05 meses
Pb^{214}	β	26,8 meses
Bi^{214}	β	19,7 meses
Po^{214}	α	$1,58 \times 10^{-4}$ segundos
Pb^{210}	β	22,3 anos
Bi^{210}	β	5,02 dias
Po^{210}	α	138,4 dias
Pb^{206}	estável	-

Estão omitidos os produtos de decaimento para isótopos que representam menos de 0,2%.

Tabela 2 - A série de decaimento do U^{238}
(conforme Smith & Wollenberg 1972, modificado de Grasty 1979).

Isótopo	Radiação	Meia-Vida
Th^{232}	α	$1,39 \times 10^{10}$ anos
Ra^{228}	β	6,7 anos
Ac^{228}	β	6,13 horas
Th^{228}	α	1,91 anos
Ra^{224}	α	3,64 dias
Rn^{220}	α	55,3 segundos
Po^{216}	α	0,158 segundos
Pd^{212}	β	10,64 horas
Bi^{212}	β (64%)	60,5 meses
	α (36%)	
Po^{212} (36%)	α	$3,04 \times 10^{-7}$ segundos
Tl^{208}	β	3,1 meses
Pb^{208}	estável	

Tabela 3 - A série de decaimento do Th^{232}
(conforme Smith & Wollenberg 1972, modificado de Grasty 1979).

Considerando-se que o U e o Th dispõem de uma configuração eletrônica similar, Th(Z=90) e U(Z=92), decorre que tais elementos possuem propriedades químicas semelhantes. Ambos ocorrem na natureza como óxidos tetravalentes e por apresentarem íons similares ($U^{+4} = 1,05A^0$ e $Th^{+4} = 1,10A^0$) podem ser facilmente substituídos entre si. Entretanto, sob condições oxidantes, o U assume a forma hexavalente, sendo solúvel na água e portanto mais móvel, enquanto o Th existe somente na forma tetravalente, e por conseguinte seus minerais são insolúveis na água.

Durante a cristalização de um magma, U e Th são concentrados na fase líquida, incorporados em rochas ricas em sílica. Por essa razão os granitos, por exemplo, são mais ricos nesses elementos que as rochas basálticas ou ultramáficas.

3.2 CARACTERÍSTICAS DA RADIAÇÃO GAMA

O primeiro trabalho teórico dedicado à variação da intensidade da radiação gama natural com a altura foi o de Eve (1911 *apud* Grasty 1979). Esse autor avaliou a intensidade da radiação gama em termos do número (n) de íons produzidos por segundo/ cm^3 de ar e mostrou que:

$$n = \frac{2\pi Q n_o}{\mu} \int_0^1 e^{-\lambda \frac{h}{z}} dz, \quad (1)$$

onde:

Q é a radiação média das rochas;

n_o é o número de íons produzido por cm^3/s no ar, em condições normais de temperatura e pressão, a 1cm de uma fonte de um Curie de atividade radioativa (igual a 1g de Ra);

λ é o coeficiente de atenuação linear dos raios gama no ar;

μ é o coeficiente de atenuação linear dos raios gama na superfície, e z é igual ao $\text{sen}\theta$, sendo $(\pi/2 - \theta)$ o ângulo entre o detector situado a uma distância h acima da superfície e um círculo elementar posicionado imediatamente abaixo dela.

Hess (1911 e 1912 *apud* Grasty 1979) foi o primeiro a obter resultados conclusivos no tocante ao efeito de ionização da radiação gama em experimentos aéreos, através de um balão, ilustrando assim o quanto a radiação decresce suavemente a partir de uma altura de 1000m; acima de 2000m ela começa a crescer e a 5000m registrou-se uma ionização duas a três vezes o valor encontrado na superfície. Esses resultados podem ser explicados pelo decréscimo da concentração de Rn com a altura bem como pelo fato de que, para as maiores alturas, existe o predomínio da ionização, devido à radiação cósmica.

Substituindo $x = 1/z$ na equação (1), tem-se:

$$N = N_o \int_1^{\infty} \frac{e^{-\lambda h x}}{x^2} dx = N_o E_2(\lambda h) , \quad (2)$$

onde:

N_o representa a contagem registrada em um detector de raios gama na superfície, e N , a contagem a uma altura h .

A função E_2 é conhecida como integral exponencial de segunda ordem e na literatura soviética é referida como "função de King". King (1912 *apud* Grasty 1979) generalizou a equação (2) e derivou a variação dos raios gama (N) com a altura acima de um disco circular de espessura d , contido em um ângulo 2ϕ do ponto de medida. N é dado por:

$$N = \frac{2\pi Q n_0}{\mu} E_2(\lambda h) - E_2(\lambda h + \mu d) - \cos \pi \left\{ \left[E_2\left(\frac{\lambda h}{\cos \phi}\right) - E_2\left(\frac{\lambda h + \mu d}{\cos \phi}\right) \right] \right\} , \quad (3)$$

onde Q , n_0 , μ , h e λ possuem o mesmo significado dos parâmetros da equação (1).

A partir da equação acima, pode-se calcular a porcentagem da radiação total detectada (P), a qual é originária de uma área circular subtendida por um ângulo 2ϕ , através da seguinte expressão:

$$P = 100 \times \frac{\left[E_2(\lambda h) - \cos \phi \cdot E_2\left(\frac{\lambda h}{\cos \phi}\right) \right]}{E_2(\lambda h)} . \quad (4)$$

Os resultados para energias de 1,46MeV, 1,76MeV e 2,62MeV para o K, o U e o Th, respectivamente, encontram-se listados na Tabela 4; a Figura 3 ilustra os resultados para o K e o Th a uma altura de 120m. Entretanto, tais resultados são válidos apenas para radiações monoenergéticas não-espalhadas, uma vez que os raios gama decorrentes do espalhamento Compton contribuem para a ionização ou sensibilizam o detector.

A solução completa do problema da detecção dos raios gama em levantamentos aéreos é extremamente complexa, visto que muitos raios gama são envolvidos, com diferentes coeficientes de atenuação, associados a espalhamentos múltiplos e ocorrendo simultaneamente tanto na superfície quanto fora dela.

Na Figura 4 acha-se representada a natureza da componente de espalhamento de um fluxo de raios gama para uma fonte homogênea de 1% de K, coberta por uma camada de 20cm de água, o que equivale aproximadamente a 200m de ar.

A componente resultante do espalhamento pode crescer de forma significativa para energias abaixo de 500keV. Os resultados para uma fonte com 1ppm de U e 1ppm de Th podem ser observados nas figuras 5 e 6.

Porcentagem da Fonte	Potássio ^a ($\mu = 0,00680/\text{m}$)	Urânio ^a ($\mu = 0,0019/\text{m}$)	Tório ^a ($\mu = 0,00506/\text{m}$)
10	74,5	76,2	79,6
20	110,9	113,3	100,0
30	143,4	146,8	154,1
40	176,1	180,6	190,1
50	211,5	217,2	229,5
60	252,2	259,5	275,5
70	307,7	312,3	335,5
80	372,7	385,8	415,2
90	493,3	513,4	559,5

a) Coeficiente de atenuação linear tomados da Tabela 1 para o ar a 0°C e 76cm de Hg.

Tabela 4 - Porcentagem de detecção da radiação gama originária de circulares abaixo do ponto de medida, a uma altura de 120m (conforme Grasty 1979)

	Razão de Exposição (μ R/h)	
	Lovborg & Kirkegaard (1974)	Beck "et al" (1972)
1%K	1,52	1,49
1 ppm Th	0,31	0,31
1 ppm U	0,63	0,62

Tabela 5 - Contribuições devidas ao K, U e Th para uma exposição de 1cm acima do solo. (conforme Grasty 1979)

Elemento Analisado	Isótopo	Energia do Ralo Gama (MeV)	Janelas (MeV)
Potássio	K^{40}	1,46	1,37 - 1,57
Urânio	Bi^{214}	1,76	1,66 - 1,86
Tório	Tl^{208}	2,62	2,41 - 2,81
Contagem Total	-		0,41 - 2,81

Tabela 6 - Espectro das larguras das janelas (conforme Grasty 1979)

FIGURA 3 - PORCENTAGEM DA RADIAÇÃO GAMA TOTAL DETETADA DE AREAS COM DIFERENTES DIAMETROS, PARA O K E O TH A UMA ALTURA DE 120 M.

(MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 4 - DISTRIBUICAO DA ENERGIA DO FLUXO DE FOTONS
PRODUZIDO POR 1% DE POTASSIO DISSEMINADO EM AREIA,
IMERSA EM 20 CM DE AGUA

(CONFORME KIRKEGAARD & LOVBORG 1974, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 5- DISTRIBUICAÇÃO DA ENERGIA DO FLUXO DE FÓTONS
 PRODUZIDO POR 1 PPM DE URÂNIO DISSEMINADO EM AREIA,
 IMERSA EM 20 CM DE ÁGUA, INDICANDO DENTRE OS VÁRIOS
 FÓTOPICOS DO BI (214) AQUELE CORRESPONDENTE A 1,76MEV.
 (CONFORME KIRKEGAARD & LØVBØRG 1974, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FIGURA 6 - DISTRIBUICAÇÃO DA ENERGIA DO FLUXO DE FOTONS PRODUZIDO POR 1 PPM DE TÓRIO DISSEMINADO EM AREIA, IMERSA EM 20CM DE AGUA, INDICANDO O FOTÓPICO DO TL(208)

(CONFORME KIRKEGAARD & LØVBORG 1974, MODIFICADO DE GRASY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

A Figura 5 mostra diversos fotopicos, todos oriundos da radiação gama emitida pelo Bi^{214} até energias de 0,5MeV, assinalando-se apenas aquela correspondente a 1,76MeV. Abaixo de 0,5MeV, segundo Kogan *et al.* (1971 *apud* Mares 1984), as radiações gama são provenientes, além do Bi^{214} , dos isótopos Pb^{214} , Th^{234} e U^{238} .

A Figura 6 também exibe vários fotopicos, destacando aquele correspondente ao Tl^{208} (2,62MeV). Os outros são originados dos isótopos Tl^{208} , Bi^{212} e Ac^{228} até energias de 0,5MeV. Abaixo desse patamar, o espectro de radiações gama provém dos isótopos Th^{232} , Th^{228} , Ac^{228} e Pb^{212} , de acordo com Kogan *et al.* (1971 *apud* Mares 1984).

A contribuição *skyshine* decorre dos raios gama advindos da superfície, os quais foram espalhados pelo ar na altura de 1m. O fluxo dessa contribuição é de baixa energia e participa com cerca de 50% do total da energia menor que 200keV. Para essas baixas energias, a radiação é virtualmente isotrópica, com distribuição angular uniforme, mesmo que os raios gama tenham sofrido múltiplas colisões e se tornem erráticos.

A Figura 7 apresenta o espectro de energia de um fluxo de raios gama bem como a contribuição *skyshine* a 1m acima de um granito com 3,4% de K, 3ppm de U em equilíbrio e 12ppm de Th, conforme Lovborg *et al.* (1976 *apud* Grasty 1979).

A Figura 8, por sua vez, ilustra a distribuição angular típica de um fluxo de raios gama a 1m de altura, onde nota-se que pequena parte do fluxo diretamente abaixo do sensor é detectada, e a maior parte da radiação provém de ângulos entre 60 e 80°, a partir da vertical.

A Tabela 5 aponta a contribuição do K, do U e do Th para uma exposição de 1m acima da superfície. Os resultados similares obtidos por Beck *et al.* (1972) e Lovborg e Kirkegaard (1974 *apud* Grasty 1979) revelam uma boa coerência da distribuição de energia de um fluxo de raios gama.

Na interpretação de dados aerogamaespectrométricos, todavia, não é suficiente conhecer somente a distribuição dos raios gama oriundos de K, U e Th, mas também as características do sensor, os quais podem modificar de modo considerável o espectro. A introdução da resposta do sensor na análise é um problema bastante complexo e pode ser avaliado satisfatoriamente apenas através da combinação de experiências de laboratório e simulações de Monte Carlo.

Grasty (1976a *apud* Grasty 1979) utilizou resultados experimentais de Grasty e Holman (1974 *apud* Grasty 1979), relativos a medidas de variação angular a 2,62MeV, para um certo número de sensores normalmente usados em levantamentos aerogamaespectrométricos, e comparou esses dados com cálculos teóricos a partir da equação (4). A Figura 9 ilustra como a porcentagem da contribuição de áreas circulares abaixo da aeronave varia com o tipo de sensor.

FIGURA 7 - DISTRIBUICAO DA ENERGIA DE UM FLUXO DE FOTONS E DA COMPONENTE "SKYSHINE" TOMADA A 1 METRO ACIMA DE UM GRANITO TIPICO.

(CONFORME LOVBORG ET AL. 1976, MODIFICADO DE GRASY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO ANGULAR DO FLUXO DE RAIOS GAMA TOMADO A 1 METRO.

(CONFORME BECK 1972, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 9 - PORCENTAGEM DA RADIAÇÃO GAMA TOTAL DETETADA
A PARTIR DE AREAS COM DIFERENTES DIAMETROS, EM FUNÇÃO
DO VOLUME DO DETETOR

(CONFORME GRASTY 1976A, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

3.3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

3.3.1 O Sistema Aéreo

Nas medidas aéreas da radioatividade natural, empregam-se sensores cilíndricos de grande volume. Em função das características físicas do fotomultiplicador, não são observados os comportamentos ilustrados nas figuras 4, 5 e 6, sendo necessário, portanto, selecionar janelas representativas de um determinado radioelemento.

O espectro típico de uma radiação gama, tomado a 120m de altura, é apresentado na Figura 10, de Foote (1968 *apud* Grasty 1979). Os picos de 2,62MeV, 1,76MeV e 1,46MeV representam o Tl^{208} , o Bi^{214} assim como o K^{40} . Os raios gama, assim caracterizados, são aceitos em geral como os mais adequados para as medidas de U e Th, em virtude de serem abundantes. Pelo fato de possuírem alta energia, não são significativamente absorvidos pelo ar; também por essa razão são individualizados com facilidade de outras radiações no espectro. As janelas de energia daqueles raios encontram-se dispostas na Tabela 6, além da janela da contagem total. Entretanto, uma série de correções são necessárias para que se possam gerar os produtos finais de um levantamento aerogamaespectrométrico. As principais são: redução da radiação de fundo atmosférico (*background*); correção do Efeito Compton; correção altimétrica e ainda conversão dos dados corrigidos em concentrações (% e ppm).

3.3.2 Radiação de Fundo Atmosférico

Em qualquer levantamento aerogamaespectrométrico, são três as principais fontes da radiação atmosférica:

- radioatividade da aeronave e do equipamento;
- radiação cósmica;
- radioatividade proveniente do gás radônio na série de decaimento do U.

A radioatividade da aeronave e do equipamento, considerada constante, é resultante da presença de pequenas quantidades de material radioativo, principalmente nas luzes e nos diais de rádio dos painéis dos instrumentos.

A radiação cósmica é causada principalmente pela geração de fótons, oriundos da interação com o ar, a aeronave ou com o sistema de detecção. A contribuição da radiação cósmica aumenta com a altura, embora seja pequena a variação diária em uma mesma base. Pequenas variações são observadas com a latitude, o ciclo solar de 11 anos ou ainda com o tamanho da aeronave. A Figura 11 representa o espectro da radiação cósmica obtido através da subtração de dois espectros sobre a água, a diferentes altitudes, de acordo com Burson (1973 *apud* Grasty 1979). O pico proeminente, em torno de 0,5MeV, é produzido pela eliminação de pósitrons, criados pela produção de par, em virtude dos raios gama de alta energia na aeronave ou no conjunto do detector. A radiação cósmica

FIGURA 10 - ESPECTRO TÍPICO DA RADIAÇÃO GAMA TOMADO A 120M

(CONFORME FÖÖTE 1968, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FIGURA 11 - ESPECTRO DA RADIAÇÃO CÔSMICA
(CONFORME BURSON 1973, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

em cada janela pode ser removida quando se monitora a janela de alta energia de 3-6MeV, a qual não será afetada pelas variações naturais na superfície (Burson 1973 *apud* Grasty 1979).

A maior influência, entretanto, ocorre em função dos produtos de decaimento do Rn, um gás que se propaga na atmosfera e tem uma meia-vida de três dias e oito décimos. A forma bem como a intensidade da propagação dependem de diversos fatores como pressão, umidade do solo, manto de intemperismo, ventos e temperatura.) A Figura 12 exhibe as concentrações de Rn monitoradas em Cincinnati (EUA), pela manhã e à tarde, ao longo de quatro anos, segundo Gold *et al.* (1964 *apud* Grasty 1979). Darnley e Grasty (1970 *apud* Grasty 1979) mostraram que cerca de 70% dos fótons detectados na janela do U são resultantes de produtos de decaimento do Rn ocorridos no ar.

3.3.3 Efeito Compton

Em virtude do espalhamento Compton na superfície e no ar, de 2,62MeV do Tl^{208} , pode haver interferência nas janelas de baixa energia do U e do K, a partir de uma fonte pura de Th. O mesmo ocorre com fontes de U que interferem no espectro de baixa energia do K assim como na janela de alta energia do Th, em resposta à radiação do Bi^{214} na série de decaimento do U.

Devido ao pequeno poder de resolução dos detectores de NaI, as contagens decorrentes de uma fonte pura de K podem ser registradas no canal do U. As razões de contagens nas janelas de baixas energias oriundas de fontes puras de U e Th são conhecidas como *stripping factors* e denominadas α , β e γ , onde:

- α é igual à razão das contagens nas janelas de U e Th, a partir de uma fonte pura de Th;
- β é igual à razão das contagens nas janelas de K e Th, a partir de uma fonte pura de Th;
- γ é igual à razão das contagens nas janelas de K e U, a partir de uma fonte pura de U.

Grasty (1977 *apud* Grasty 1979) introduziu os termos a , b e g para denominar os *stripping factors* inversos, onde:

- a é a interferência do U na janela do Th;
- b é a interferência do K na janela do Th;
- g é a interferência do K na janela do U.

A Figura 13 constitui uma representação esquemática da interferência entre as janelas dos três radioelementos, sendo os fatores identificados, como se segue, de acordo com Killeen (1979):

FIGURA 12 - MEDIAS MENSAIS DA CONCENTRACAO DO RADONIO 222 EM CINCINNATI, MEDIDAS PELA MANHA (8:00HS) E A TARDE (15:00HS).

(CONFORME GOLD ET AL. 1964, MODIFICADO DE GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA INTERAÇÃO ENTRE AS JANELAS DE ENERGIA DO K, U E TH INDICANDO OS "STRIPPING FACTORS" USADOS PARA REMOVER AS INTERFERÊNCIAS APONTADAS PELAS SETAS. OS "STRIPPING FACTORS" A, B E G SÃO PEQUENOS OU NULOS SENDO FREQUENTEMENTE IGNORADOS.

(MODIFICADO DE KILLEEN 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

Stripping Factor

Fatores usados para a faixa do

α	Th na janela do U
β	Th na janela do K
γ	U na janela do K
a	U na janela do Th (normalmente pequeno)
b	K na janela do Th (zero)
g	K na janela do U ($\cong$ zero)

Um detalhamento dos procedimentos adotados para se determinarem os *stripping factors* em levantamentos aéreos pode ser encontrado em Killeen (1979).

Para que seja possível transformar as contagens medidas nos levantamentos aerogamaespectrométricos em concentrações (ppm,%), é necessário discriminar as seis constantes de calibração referidas, principalmente as três primeiras. Esse procedimento utiliza grandes fontes de calibração de concreto ou fontes planares (*pads*); as mesmas foram construídas em Ottawa, pelo Serviço Geológico do Canadá, segundo Grasty e Darnley (1971 *apud* Grasty 1979), como também em *Grand Junction*, pelo Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento de Energia dos Estados Unidos (Word 1978 *apud* Grasty 1979). No Brasil, devido à inexistência de fontes de calibração, as contagens registradas nos levantamentos aerogamaespectrométricos não podem ser transformadas em teores, o que impossibilita a comparação com estatísticas internacionais, em termos das concentrações de U e Th, em ppm, e K, em %, nos diversos tipos de rochas.

3.3.4 Correção Altimétrica

A correção altimétrica é efetuada através de sobrevôos, de preferência em regiões planas e a diversas alturas. Para o intervalo de alturas normalmente empregado em levantamentos aéreos, as contagens em cada janela podem ser representadas, de forma adequada, pela seguinte expressão:

$$N = Ae^{-\mu h} , \quad (5)$$

onde A e μ são constantes (Darnley *et al.* 1968; Kogan *et al.* 1971; Burson 1973 *apud* Grasty 1979). A Figura 14 indica a variação do K com a altura da aeronave, através de curvas derivadas das equações (5) e (2) de Grasty (1976b *apud* Grasty 1979).

3.3.5 Conversão para Concentrações Superficiais

A partir de vôos sobre áreas-teste, onde são conhecidas as concentrações dos radioelementos, é relativamente fácil transformar as contagens por segundo em concentrações. O Departamento de Energia dos Estados Unidos dispõe de uma fonte de calibração próxima a Las Vegas, e o Serviço Geológico do Canadá, um padrão perto de Ottawa, como já referido.

FIGURA 14 - VARIACÃO DO POTÁSSIO COM A ALTURA DA AERONAVE
(CONFORME GRASTY 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

3.3.6 Outros Fatores que Influenciam as Medidas

Os outros fatores que influenciam as medidas, de acordo com Killeen (1979), são o equilíbrio radioativo; a geometria e o arranjo das amostras; o tempo morto; o volume das amostras; a soma e o empilhamento de pulsos.

Uma série radioativa encontra-se em equilíbrio secular quando o mesmo número de átomos decai, em todos os membros, em uma mesma unidade de tempo, ou seja:

$$\lambda_1 X_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots \lambda_i N_i ,$$

onde:

N_i = o número de átomos do elemento radioativo-pai;

$i = 1, 2, 3, \dots$ = produtos de decaimento;

λ = constante de decaimento (1/s).

O estado de equilíbrio, nesse caso, é alcançado quando o processo de decaimento sucede em um sistema geoquimicamente fechado. Assim, pode-se determinar o total do pai na série de decaimento através da medida da radioatividade de qualquer filho. Principalmente em relação ao U, o equilíbrio secular nem sempre é obtido, uma vez que, ao assumir seu estado hexavalente, esse elemento torna-se bastante solúvel e, conseqüentemente, de fácil lixiviação. Na série de decaimento do U^{238} , o isótopo-filho referencial é o Th^{230} (Tabela 2), o qual possui uma meia-vida de aproximadamente 80.000 anos. Desse modo, o equilíbrio secular do U é atingido em 560.000 anos, assumindo que, em sete meias-vidas, os produtos-filhos alcançarão 99% do valor do equilíbrio, enquanto o do Th é conseguido em cerca de 47 anos e por esse motivo pode ser considerado em estado de equilíbrio.

Em conseqüência, o equilíbrio do U pode ser facilmente rompido em rochas, sobretudo em virtude da ação do intemperismo, o que provoca dispersões química e física. O grau de dispersão é regido por diversos fatores como clima, hidrologia superficial e topografia. Em regiões de climas tropicais quentes e úmidos, o grau de lixiviação é grande, favorecendo assim a diminuição do conteúdo de informação dos raios gama em solos residuais.

Uma maneira de verificar a alteração de rochas é o parâmetro $F = K.U/Th$, definido por Efimov (1978 *apud* Gnojek & Prichystal 1985). O índice F é de 1,2 a 1,3 em rochas não alteradas, podendo chegar a 2,5, ou mesmo 10, em rochas alteradas.

A geometria do detector é outro fator de grande importância, visto que o tamanho e a forma do mesmo influenciam a medida da radiação. Detectores portáteis ou aerotransportados são considerados de geometria 2π , e a geometria 4π , por exemplo, é aquela na qual a fonte engloba todo o detector, como no caso de perfilagens de poços. As figuras 15 e 16 apresentam diferentes geometrias sensor-fonte bem como a influência da topografia em levantamentos aéreos.

O volume efetivo da amostra pode ser afetado por fatores como a densidade do material e o coeficiente de absorção, como já visto.

O tempo morto representa o tempo durante o qual o aparelho encontra-se ocupado analisando um raio gama, não registrando, assim, outros raios que eventualmente estejam incidindo.

Já a soma, ou empilhamento de pulsos, tem lugar quando dois raios gama alcançam o detector ao mesmo tempo e são interpretados como apenas um pelo aparelho.

FIGURA 15 - QUATRO TIPOS DE GEOMETRIA FONTE-SENSOR

VERIFICADAS EM LEVANTAMENTOS TERRESTRES

(CONFORME KILLEEN 1979)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 16 - O EFEITO DA GEOMETRIA DA FONTE E DA DISTANCIA SENSOR-FONTE SOBRE AS MEDIDAS EM LEVANTAMENTOS AEREOS. NOTE COMO UMA DEPRESSAO TOPOGRAFICA PODE CAUSAR TANTO UMA ELEVADA CONTAGEM COMO EM B QUANTO UMA BAIXA COMO EM C.

(CONFORME GRASTY 1976A, MODIFICADO DE KILLEEN 1979)

4 GAMAESPECTROMETRIA TERRESTRE

O que se denominou gamaespectrometria terrestre constitui uma síntese da Suíte Intrusiva de Itu, a geração e a análise de mapas de contorno dos radioelementos, de suas razões e do parâmetro F, utilizando dados terrestres de Pascholati (1990).

4.1 SUÍTE INTRUSIVA DE ITU

A Suíte Intrusiva de Itu (Pascholati *et al.* 1987) situa-se cerca de 60km da cidade de São Paulo, abrangendo uma área aproximada de 400km².

Os granitóides de Itu pertencem ao denominado *Itu belt* de Vlach *et al.* (1990), o qual é formado por dezenas de plútons e complexos granitóides *tardi* a pós-orogênicos ao ciclo Brasileiro (640-580Ma). Acompanham, *grosso modo*, a borda erosiva da Bacia do Paraná e truncam domínios tectonoestratigráficos distintos (Figura 17). As características gerais desses granitóides são apresentadas na Tabela 7.

Vlach *et al.* (1990) definiram quatro associações granitóides, geograficamente superpostas, com base em critérios estruturais, petrográficos e geoquímicos. São elas:

- granitóides porfiríticos cálcio-alcalinos comparáveis aos do tipo I Caledoniano. Os minerais máficos são biotita e eventualmente hornblenda, e os acessórios mais comuns, titanita como também allanita.
- granitóides róseos, grosseiros, com texturas viborgíticas, comparáveis aos do tipo A. A composição é sienogranítica, e os acessórios principais são titanita, allanita e fluorita.
- as duas outras associações, intermediárias, incluem biotita-monzogranitos inequigranulares e granitóides róseos, diferenciados, apresentando muscovita e fluorita, as quais, em alguns locais, exibem produtos de alteração pós-magmática além de mineralizações de Sn, W, Mo e outras.

Pascholati *et al.* (1987) apresentaram um estudo petrológico preliminar sobre a Suíte e identificaram biotita-granitos, hastingsita-biotita-granitos, leuco-dioritóides e microgranitos. As relações de contato com as encaixantes podem ser tectônicas ou intrusivas.

Pascholati (1990) identificou, com base principalmente em critérios texturais, duas fácies principais e várias outras secundárias na Suíte. As principais são as equigranulares de granulação variável de média a grossa e as inequigranulares seriadas a porfiríticas. As fácies secundárias identificadas por essa autora são: granitóides equigranulares de granulação fina a média, microgranitos porfiríticos assim como dioritóides brancos e escuros.

Figura 17 - Mapa geológico esquemático das associações granitóides pertencentes ao "Itú belt" (parte leste).
(modificado de Vlach et al. 1990)

ASSOCIAÇÕES	PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS	MODO DE OCORRÊNCIA	COMPOSIÇÃO E TEXTURA	MINERALOGIA	QUIMISMO	OBSERVAÇÕES E GEOCRONOLOGIA Rb/Sr
"cálcio-alcalina", porfíritica	Sorocaba, Morungaba (norte) Serra da Batêia	Intrusões alongadas, complexos <i>acamadados</i>	monzogranitos a quartzo-monzonitos, granulação grossa (porfíritico a porfiróide)	biotita ($\pm$ hornblenda) titanita, allanita, magnetita	$SiO_2 = 65-68\%$ altos K, Ba, F; mg $\sim 0,35$	diques e enclaves de dioritos e granitos associados 612 ± 18 Ma IR = 0,7072 (Morungaba)
monzogranitos inequigranulares	Morungaba (sul) Itu (norte)	complexos e plútons centrados	monzogranitos (granulação média a grossa e inequigranulares)	biotita, titanita, allanita, magnetita	$SiO_2 = 70-72\%$ altos Ba, Sr médio F mg $\sim 0,35$	590 ± 10 Ma; IR = 0,7064 (Morungaba)
viborgítics e sienogranitos associados	São Francisco Itu (sul)	plútons subcirculares	sienogranitos viborgítics ou porfiróides de granulação grosseira	biotita ($\pm$ Fe-ederita) titanita, allanita, fluorita	$SiO_2 = 72-74\%$ médio Ba mg $\sim 0,20$	586 ± 10 Ma; IR = 0,7066 (Itu)
granitos fardios com muscovita	Pilar do Sul, Morungaba, São Francisco	pequenos plútons e <i>stocks</i> epizonais	monzogranitos e sienogranitos equigranulares localmente granofírico	biotita, muscovita, fluorita ($\pm$ turmalina, topázio)	$SiO_2 = 74\%$ Na/K ~ 1 baixos Ba, Sr, mg geralmente baixo	<i>greisens</i> , albitos veios de quartzo, em parte com Sn, W, Mo

Tabela 7 - Características gerais dos granitóides pertencentes ao *Itu belt* parte leste (modificado de Vlach *et al.* 1990)

- Q ALUVIÕES
- T GRUPO TUBARÃO
- +Ys+ GRANITO SALTO
- YA GRANITO FAZ. CRUZ ALTA
- xYJx GRANITO FAZ. JAPÃO
- +YI+ GRANITO ITUPEVA
- YI GRANITOS INDIFERENCIADOS
- Pap COMPLEXO PIRACÉIA

Figura 18- Mapa geológico simplificado da Suíte Intrusiva de Itú.
(modificado de Pascholati , 1990.)

Pascholati (1990) apresentou ainda um mapa geológico em escala 1:50.000, onde notam-se diversos lineamentos extraídos de imagens LANDSAT-TM, mosaicos de radar e fotografias aéreas convencionais, sendo que os mais marcantes refletem zonas de falhas curvas e aproximadamente paralelas, ou convergentes à Zona de Falha de Jundiuvira. Através dessas imagens bem como de posterior verificação de campo, foram registradas cunhas de rochas encaixantes que permitiram distinguir os granitos Salto, Fazenda Cruz Alta, Fazenda Japão, Itupeva e outros (Figura 18).

4.2 LEVANTAMENTO GAMAESPECTROMÉTRICO TERRESTRE

Pascholati (1990) realizou, entre outros, um levantamento gamaespectrométrico terrestre na Suíte Intrusiva de Itu.

As medidas para esse levantamento foram tomadas por um gamaespectrômetro portátil da *Scintrex*, com um detector de NaI ativado a Tl de $2.5 \times 2.5 \text{ pol.}^3$, no qual os intervalos das janelas são: K(1380-1560keV); U(1660-1900keV); Th(2580-2650keV); CT(800-2770keV).

O ruído de fundo foi medido em um lago, utilizando um barco de alumínio (IAG). Foram obtidos os seguintes resultados: K = 0,59cps; U = 0,34cps; Th = 0,19cps.

A calibração do instrumento foi efetuada no Instituto de Radioproteção e Radiometria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (IRD/CNEN), no Rio de Janeiro, onde foram utilizadas fontes planares (*pads*) com 3,0m de diâmetro e 0,5m de altura.

A partir dos dados obtidos, Pascholati (1990) calculou as razões de *stripping* (α , α , β e γ) como também os fatores de calibração (cK, cU e cTh) necessários para se obterem os respectivos teores (IRD). Considerando que os teores assim calculados revelaram-se bem superiores aos medidos em laboratório, essa autora resolveu proceder a novos cálculos, desta feita utilizando os padrões fornecidos pelo fabricante (TS-5 com 99,2% de ThO_2 e US-2 com 67,91% de U_3O_8) e ruído de fundo (IAG). Os resultados desse processo encontram-se na Tabela 8, onde podem ser observadas as diferenças entre os métodos.

O levantamento superficial foi desenvolvido pela autora acima em afloramentos de granitóides e do embasamento. A Figura 19 apresenta a localização dos 138 pontos medidos, enquanto as tabelas 9 e 10 mostram as médias para os corpos graníticos obtidas, respectivamente, por gamaespectrometria terrestre e de laboratório.

De acordo com Mares *et al.* (1984 *apud* Pascholati 1990), as medidas espectrométricas estão sujeitas a erros que podem ser aleatórios ou sistemáticos. Os aleatórios são causados pelo caráter estatístico do decaimento radioativo e caracterizados pelo desvio padrão $\sigma(n) = \sqrt{n}$, onde n representa a contagem; já os erros sistemáticos são caracterizados pelo erro do tempo morto assim como pela calibração indevida do aparelho. A correção do tempo morto é expressa por:

	Razões de "stripping"				Fatores de Calibração		
	a	α	β	γ	ck	cU	cTh
IRD	-0,665	0,6832	0,851	0,7585	8,856	4,299	0,399
IAG		0,6560	0,715	0,7800	0,12*	0,33*	3,60*

Tabela 8 - Fatores de calibração e razões de "stripping" * = cps/ppm (conforme Pascholati 1990)

Corpos Graníticos	Número de Pontos	K (%)		eU(ppm)		eTh(ppm)		U/K		Th/K		Th/U	
		$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ
Salto	20	3.48	1.00	6.6	2.3	39.3	10.3	2.1	0.9	11.7	3.1	6.5	2.6
Faz.Cruz Alta	10	3.88	0.71	3.4	1.1	25.9	6.6	0.9	0.3	6.8	1.9	7.8	1.4
Faz.Japão	14	3.46	0.57	2.8	0.9	22.8	10.4	0.8	0.5	6.6	2.5	8.2	1.4
Itupeva	35	4.04	0.80	5.9	3.9	39.7	13.9	1.5	0.9	10.1	4.0	8.3	3.2
Outros	32	3.41	0.88	4.4	2.4	29.9	12.5	1.4	0.8	8.7	1.7	7.6	2.6
Suíte Itu	111	3.67	0.86	5.0	3.0	33.4	13.4	1.4	0.9	9.3	3.5	7.7	2.7

Tabela 9 - Médias para os corpos graníticos da Suíte Intrusiva de Itu obtidas através de gamaespectrometria terrestre. (conforme Pascholati 1990)

Corpos Graníticos	Número de Pontos	K (%)		eU(ppm)		eTh(ppm)		U/K		Th/K		Th/U	
		$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ	$\bar{X}$	σ
Salto	16	4.28	0.44	7.5	4.6	34.6	6.9	1.7	0.9	8.2	2.2	5.8	2.4
Faz.Cruz Alta	6	3.55	0.49	3.8	0.7	22.5	6.7	1.3	0.2	6.6	2.8	6.0	1.5
Faz.Japão	14	4.28	0.59	3.5	1.7	27.8	10.2	0.9	0.4	6.8	3.1	9.7	6.4
Itupeva	34	4.43	0.43	5.3	3.4	35.2	16.9	1.2	0.9	8.1	4.4	8.0	3.1
Outros	50	4.07	0.74	4.6	2.5	29.1	10.4	1.2	0.9	7.6	3.7	7.4	3.1
Suíte Itu	121	4.20	0.63	5.0	3.2	31.3	12.6	1.3	0.9	7.7	3.7	7.6	3.6

Tabela 10 - Médias para os corpos graníticos da Suíte Intrusiva de Itu obtidas através de gamaespectrometria laboratório. (conforme Pascholati 1990)

FIGURA 19 SUITE ITU - MAPA DE PONTOS GAMAESPECTROMÉTRICOS

FERREIRA F.J.F. 1991

$$n = \left(\frac{nr}{1 - nrtd} \right) ,$$

onde nr é a razão de contagem, e td, o tempo morto determinado experimentalmente.

Pascholati (1990) avaliou estatisticamente os resultados do levantamento superficial em relação aos conjuntos de constantes IRD e IAG (Tabela 7), para os três isótopos, e comparou-os com aqueles obtidos por espectrometria gama de laboratório. Concluiu, então, que o segundo conjunto (IAG) apresentou teores de K, U e Th mais próximos dos resultados obtidos em laboratório, além de menor desvio padrão, sendo esses teores utilizados a seguir.

4.3 ELABORAÇÃO E ANÁLISE DOS MAPAS DE CONTORNO DE K, U E Th, DAS RAZÕES U/K, U/Th E Th/K ALÉM DO PARÂMETRO F

A partir dos dados dos teores de K, U e Th, gentilmente cedidos por E.M.Pascholati, foram construídos os mapas de contorno dos radioisótopos, de suas razões, do parâmetro F e de localização dos pontos de medida, através do "Sistema de Malhas" do Setor de Programação e Análise (Sepran), do Depex da Petrobrás.

Considerando a natureza da distribuição dos dados indicada na Figura 19, optou-se pela aplicação de um programa, cuja ponderação é baseada no inverso da distância. Esse método foi originalmente proposto por Shepard (1968), de acordo com Franke (1982).

Yamamoto (1986), revendo as formas de representação gráfica de dados geológicos, assim comentou o método de interpolação empregado para a geração das malhas:

A fórmula geral para a interpolação de um ponto, com ponderação pelo inverso da potência da distância é:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} , \quad (6)$$

onde:

F = valor interpolado;

F_i = valor observado no ponto i;

W_i = 1/D_i² = ao ponderador;

D_i = [(x_i - x)² + (y_i - y)²]^{1/2} = a distância entre o ponto i e o ponto a ser interpolado;

p = a potência da distância; e

n = número de pontos dentro da vizinhança ao ponto a ser interpolado.

Na equação (6), quando o ponto a ser interpolado coincidir com algum ponto i observado, decorre: $F = F_i$. Em consequência, surgem áreas planas em torno de cada ponto de controle. Para minimizar esse efeito, a interpolação é feita em dois estágios: no primeiro são calculadas as projeções dos mergulhos ou inclinações das superfícies que passam pelos pontos de dados, sobre o ponto a ser interpolado, e, no segundo, calcula-se a média dessas projeções, ponderadas pelo inverso da distância, constituindo o valor interpolado.

O ponderador (W_i) sendo igual ao inverso de uma potência da distância, faz com que o peso seja maior para pontos próximos daquele a ser interpolado e menor para pontos distantes. Assim, quanto maior for a potência maior será o ponderador. O erro de interpolação depende, principalmente, da potência da distância e do número de pontos.

Outro aspecto importante é a definição da vizinhança em torno do ponto a ser interpolado. Essa vizinhança pode ser determinada de vários modos: fixando-se o raio de influência; definindo o número de pontos (n); ou o número de pontos por quadrante ou octante.

Uma vez fixado o raio de influência, todos os pontos atingidos por ele serão considerados na interpolação. De uma maneira geral, o raio de influência é fixado pelo pesquisador, empiricamente, a partir do mapa de distribuição de pontos. Entretanto, existem pelo menos dois métodos para se definir o raio de influência: o primeiro, devido a Shepard (1968), leva em consideração a distribuição de densidades de pontos da área mapeada, calculando-se o raio de influência da seguinte forma:

$$R = (7A / \pi N)^{1/2}$$

onde:

R = ao raio de influência, de tal modo que, em média, sete pontos sejam contemplados dentro de um círculo definido por esse raio;

A = a área do maior polígono inscrito nos dados; e

N = o número total de pontos.

O segundo, considera a correlação espacial dos dados e determina o raio de influência como sendo igual à amplitude definida sobre o variograma dos dados (Pettinati 1983). A amplitude é a distância que define a vizinhança dentro da qual os pontos são considerados como dependentes.

Essas formas de interpolação, fixando-se os raios de influência, podem ser consideradas como processos de médias móveis bidimensionais, proporcionando uma suavização dos dados. Quanto maior o raio utilizado maior será a suavização, atenuando os efeitos locais e realçando a tendência da variação regional.

No caso em que se determina o número de pontos vizinhos mais próximos, geralmente entre 4 e 16 (Howarth 1983), a interpolação é procedida em qualquer ponto do mapa, muitas vezes envolvendo dados fora da zona de influência, portanto sem muito significado. Além disso, surge outro problema nesse tipo de busca quando existe um agrupamento de pontos próximos, sendo todos eles considerados por esse critério.

Por fim, de acordo com Harbaugh (1977), no processo por quadrante ou octante a área em torno do ponto é dividida em quatro ou oito setores, pesquisando-se em cada setor os pontos mais próximos.

Neste item, foram utilizados os seguintes parâmetros para a geração das malhas: cela quadrática com 500m de lado; raio de pesquisa de 12 celas; número de octantes igual a 6, ou seja, no mínimo 6 dos octantes precisam conter dados para que o ponto seja interpolado.

Os procedimentos adotados pelo programa, podem ser assim resumidos:

- a partir da nuvem original de dados, o programa calcula os pontos médios por cela, das coordenadas planimétricas (x,y) bem como da variável independente, e reduz, dessa forma, a massa de dados a um ponto por cela;
- a partir dos pontos médios são calculados valores nos vértices das celas que contêm dados (malha primária). Como cada nó possui quatro celas em sua vizinhança, o valor é calculado pela média dos pontos dessas celas. A interpolação, nessa fase, é do primeiro grau, utilizando-se o ponto mais próximo contido em cada octante (o número mínimo de octantes é quatro);
- para a execução da malha secundária, os pontos-média são desprezados, empregando-se os nós da malha anteriormente calculados como nova base de dados. Nessa fase os nós são determinados envolvendo os três pontos mais próximos por octante, sendo o número mínimo de octantes definido pelo usuário. O raio de pesquisa é definido em número de celas (áreas retangulares);
- a etapa de *grid* secundário é repetida iterativamente até que nenhum novo nó possa ser calculado.

Desse modo, as figuras de números 20 a 26, mostram os mapas de contorno de K, U e Th, das razões U/K, U/Th e TH/K além do parâmetro F, assim produzidos.

De acordo com Solovov (1985 *apud* Pascholati 1990), valores superiores à $\bar{x} + 3\sigma$ extrapolam índices prováveis de uma variável aleatória com distribuição normal, ou, em outras palavras, constitui uma anomalia.

A análise dos mapas de contorno indica uma certa semelhança entre os radioisótopos de K, U e Th.

Em relação ao K (Figura 20), observa-se um ponto acima da $\bar{x}$, em trato do granito Itupeva. Valores superiores à $\bar{x} + 1\sigma$ existem no domínio do granito Salto.

(DADOS DE PASCHOLATI 1990)

FIGURA 20 SUITE ITU - CONTORNO DO POTASSIO (GAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 21 SUITE ITU - CONTOURO DO URANIO (GAMASPECTROTOMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

(DADOS DE PASCHOLATI 1990)

FIGURA 22 SUITE ITU - CONTOURNO DO TORIO (GAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 23 SUITE ITU - CONTORNO DA RAZÃO U/K (GAMAESPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

(DADOS DE PASCHOLATI 1990)

FIGURA 24 SUITE ITU - CONTOURNO DA RAZAO U/TH (GAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 25 SUITE ITU - CONTOURO DA RAZÃO TH/K (GAMAESPECTROMETRIA)

0 2 4 6 8 KM

FERREIRA F.J.F 1991

FIGURA 26 SUITE ITU - CONTORNO DO PARAMETRO $F = K.U/TH$

FERREIRA F.J.F. 1991

Quanto ao U (Figura 21), existem oito pontos acima da $\bar{x} + 2\sigma$, todos situados no domínio do granito Itupeva, sendo que três deles exibem índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$, situados no extremo nordeste da área, o que constitui uma anomalia, segundo Pascholati (1990). Índices elevados para o U são observados em outros dois pontos do granito Cruz Alta, porém sem atingir o patamar da $\bar{x} + 2\sigma$. Nota-se, no mapa de contorno, que os teores se elevam em direção aos granitos Salto e Fazenda Japão, atingindo valores pouco superiores à $\bar{x} + 1\sigma$. As regiões central e sudeste da Suíte apresentam índices abaixo da média tanto para o U quanto para o Th.

Já em relação ao Th (Figura 22), o comportamento dos teores é semelhante ao do U. Existem apenas seis pontos superiores à $\bar{x} + 2\sigma$ e um ponto maior que a $\bar{x} + 3\sigma$, todos localizados no domínio do granito Itupeva. É interessante notar a ocorrência de um ponto superior à $\bar{x} + 1\sigma$ que se destaca no segmento do granito Fazenda Japão, em virtude dos baixos valores circundantes.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A discussão apresentada a seguir foi resumida a partir de Pascholati (1990), que a tratou em relação à gamaespectrometria de laboratório. Como não existem diferenças significativas entre estes dados e os do levantamento superficial, as conclusões e considerações apresentadas pela autora também são válidas para os últimos dados.

Darnley (1982 *apud* Pascholati 1990) referiu uma média de 4,0% para o K, 4,0ppm para o eU e 16ppm para o eTh em granitos, enquanto outros autores situam esses teores entre os intervalos de 2,5-4,2; 3,0-4,5 e 8,5-18,0, respectivamente.

Pascholati (1990) calculou as médias dos dados fornecidos por Heir (1969) e Rogers e Adams (1969a,b) para granitos, encontrando desse modo índices de 3,7%, 4,8ppm e 21,0ppm para K, U e Th, respectivamente. Essa autora cita ainda que as razões Th/U, Th/K e U/K em granitos (Heir e Rogers 1963) bem como a razão K/Na em granitos subalcalinos (Heir 1969) situam-se, em média, em 3,6; 4,9; 1,29; 1,36, respectivamente.

Para a Suíte Intrusiva de Itu, a referida autora determinou os seguintes índices médios para os dados gamaespectrométricos de laboratório: 4,2; 5,0; 31,3; 7,6; 1,3; 1,4; 0,67; 29,1, respectivamente para K; U; TH; TH/U; TH/K; U/K; K/Na; F; Ur (unidade de radioelemento).

Pascholati (1990) observou que os mapas de isovalores do K, para laboratório e campo, não são concordantes, em virtude das amostras de mão utilizadas para as análises químicas não terem sido coletadas nos pontos exatos onde foram tomadas as medidas espectrométricas de campo.

De acordo com Darnley (1982 *apud* Pascholati 1990), granitóides anormalmente radioativos podem ser ricos em Th bem como em Th e U e, mais raro, somente em U. Pascholati (1990) referiu também, baseada nesse autor, que não é comum encontrar anomalias em granitos advindas apenas do K, pelo fato de que um alto teor de K, por

exemplo 6% , implica uma radioatividade significativamente menor que a média dos granitos.

Quanto à razão Th/U, as médias 7,7 e 7,6, para dados de laboratório e campo, respectivamente, encontram-se acima da média apresentada por Heir e Rogers (1963), a qual é 3,6, o que levou Pascholati (1990) a sugerir, sobretudo para a parte central da Suíte, com índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$, a atuação de processos oxidantes *tardi* ou pós-magmáticos.

A razão Th/U também é anômala para o granito Itupeva, em seu setor ocidental, enquanto a leste os índices situam-se abaixo da média. Esses dados levaram a referida autora a sugerir uma provável entrada de U decorrente de intensos processos hidrotermais, o que é roborado pelas inúmeras ocorrências minerais verificadas na região.

O granito Salto exibe uma tendência para a razão Th/U abaixo da média em seu trato central e em direção a NW, ao passo que o granito Cruz Alta revela valores com tendência para os normais em granitos.

De acordo com Rogers e Adams (1963 *apud* Pascholati 1990), as variações da razão Th/U e na abundância de U e Th dependem da composição geral da rocha assim como de processos secundários como oxidação e lixiviação do U ou formação deutérica de allanita rica em Th. Ainda segundo esses autores, algum tipo de enriquecimento do Th deve existir na crosta, uma vez que a razão Th/U de rochas provenientes diretamente do manto gira em torno de 1,0 a 2,0, além do fato de que as rochas com maior concentração de Si e K apresentam razões maiores.

O parâmetro F, associado à razão Th/K, pode fornecer indícios de regiões possivelmente mineralizadas, visto que uma diminuição na razão Th/K, aliada a um aumento de F, implica alteração hidrotermal e conseqüentes chances de mineralização, segundo Gnojek e Prichystal (1985 *apud* Pascholati 1990). Tais autores indicam o índice F acima de 1,3 para rochas alteradas e abaixo desse valor para rochas inalteradas.

A razão Th/K (Figura 25) exibe os índices de 7,7 e 9,3 para os dados gamaespectrométricos de laboratório e campo, respectivamente. Pascholati (1990) observou que a média dessa razão em granitos é 4,9 (Heir e Rogers 1963) e concluiu, através de comparação com seus dados, que ocorre um enriquecimento do Th em relação ao K.

Essa autora mostrou ainda que os maiores índices para a razão Th/K pertencem ao granito Itupeva, enquanto o granito Fazenda Cruz Alta indica um valor (2,8) abaixo da média internacional para os dados de laboratório.

O parâmetro F apresenta índices abaixo da média na região central da Suíte e inclui o granito Fazenda Japão, ao passo que os demais revelam valores acima da média (Itupeva entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$; Salto maior que a $\bar{x} + 2\sigma$ e Cruz Alta maior que a $\bar{x} + 1\sigma$).

Pascholati (1990) comparou a razão Th/K com o parâmetro F e verificou que a proposta de Gnojek e Prichystal (1985) não se aplica à Suíte Intrusiva de Itu, uma vez que, em pontos onde verificou-se alteração hidrotermal (caulinização) e mineralização, os índices não são compatíveis com os preconizados por esses autores.

Na parte central da Suíte, a razão Th/K acha-se acima da média, e o parâmetro F, abaixo. Em relação aos granitos Fazenda Japão e Fazenda Cruz Alta, os dados enquadram-se na proposta de Gnojek e Prichystal (1985), contudo isso não ocorre com respeito às conseqüências, visto que não se conhecem mineralizações associadas (Pascholati 1990).

Quanto à razão U/K, a média da Suíte está de acordo com aquela apresentada por Heir e Rogers (1963 *apud* Pascholati 1990), de 1,29. Pascholati (1990) observou que na porção leste do granito Itupeva os índices chegam até a $\bar{x} + 2\sigma$, o que implica enriquecimento de U.

5 AEROGAMAESPECTROMETRIA LOCAL

O que se denominou aerogamaespectrometria local constitui além de considerações básicas sobre o aerolevantamento e correções efetuadas, a elaboração de mapas de contorno dos radioelementos, de suas razões e do parâmetro F, em área equivalente à dos dados de espectrometria gama terrestre da Suíte Intrusiva de Itu, bem como comparações, visual e numérica, entre os dois conjuntos. Envolve ainda uma correlação entre informações aerogamaespectrométricas e geológicas dos maciços Sorocaba, São Francisco e Morungaba, os quais possuem mapeamentos faciológicos.

5.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

O levantamento aerogamaespectrométrico, associado ao aeromagnético, foi realizado pela Encal (1979), a qual utilizou três aeronaves. A área foi dividida em cinco segmentos, conforme indicado na Figura 1.

Esse levantamento foi executado com espaçamento de 1km entre as linhas de vôo, posicionadas segundo N-S, e a uma altura média de 150m sobre o terreno. Foram levantados cerca de 94.031km de perfis, que correspondem a aproximadamente 982.000 registros.

O processamento dos dados foi desenvolvido por Anjos e Mourão (1988), os quais, por motivos operacionais, dividiram a área em duas unidades: Parte I - São Paulo e Parte II - Rio de Janeiro.

A área de interesse deste trabalho inclui-se na Parte I - São Paulo. O levantamento dessa subárea foi efetuado entre junho de 1978 e fevereiro de 1979, tendo sido utilizado um avião do tipo Bandeirante (subáreas 4 e 6) e dois outros do tipo Islander (subárea 3). Foram levantados em torno de 52.400km de perfis, perfazendo cerca de 540.200 registros.

O processamento dos dados executado por Anjos e Mourão (1988) envolveu uma série de etapas, cada qual com a aplicação de um conjunto de programas.

Os principais procedimentos automáticos empregados pelos autores acima foram: reformatação das fitas originais, crítica dos dados, correção dos dados criticados, correção da variação diurna, correções gamaespectrométricas, distribuição dos erros, redução do campo geomagnético, composição do registro mestre, transformação das coordenadas UTM em geográficas e ainda geração dos mapas de contorno.

5.2 CORREÇÕES AEROGAMAESPECTROMÉTRICAS

5.2.1 Redução do Ruído de Fundo Atmosférico

O ruído de fundo atmosférico, resultante da radiação cósmica, foi eliminado por Anjos e Mourão (1988), subtraindo um determinado valor de cada canal. Também foram reduzidos nessa correção os ruídos advindos da estrutura e dos equipamentos da aeronave.

Os valores do ruído são obtidos no início bem como no término de cada voo, e para tal empresta-se o registro dos valores gamaespectrométricos tomados a 750m de altura, totalizando aproximadamente 200 registros. Esses dados foram processados após terem sido calculados a média, o desvio padrão além dos valores máximo e mínimo para os diversos canais; já o valor médio de cada canal é o índice do ruído de fundo atmosférico utilizado na redução dos dados.

5.2.2 Correção do Efeito Compton

A correção dos dados digitais foi possível através da determinação e da redução das parcelas responsáveis pelo aumento do nível de radiação nos canais do U e do K, a partir dos valores reduzidos do ruído de fundo atmosférico. Esse processo pode ser expresso da seguinte forma:

$$D(U)_{corr.} = D(U) - \alpha D(Th)$$

$$D(K)_{corr.} = D(K) - \beta D(Th) - \gamma D(U)_{corr.}$$

$$D(U)_{corr.} = \text{valor do canal do U corrigido do efeito compton, em cps;}$$

$$D(U) = \text{valor do canal do U corrigido do } background, \text{ em cps;}$$

$$\alpha = \text{coeficiente de correção do U em relação ao Th;}$$

$$D(Th) = \text{valor do canal do Th corrigido do } background, \text{ em cps;}$$

$$D(K)_{corr.} = \text{valor do canal do K corrigido do Efeito Compton;}$$

$$D(K) = \text{valor do canal do K corrigido do } background, \text{ em cps;}$$

$$\beta = \text{coeficiente de correção do K com respeito ao Th;}$$

$$\gamma = \text{coeficiente de correção do K em relação ao U, já corrigido do Efeito Compton.}$$

O volume dos cristais utilizado na subárea 6 foi de 3072 polegadas cúbicas, e os coeficientes empregados por Anjos e Mourão (1988) foram os seguintes:

$$\alpha = 0,346; \beta = 0,328; \gamma = 0,549 .$$

5.2.3 Correção Altimétrica

Apesar de planejados para cerca de 150m acima do terreno, os levantamentos aerogeofísicos, em função de acidentes de relevo, não se posicionam rigorosamente paralelos à superfície. Além disso, a intensidade da radiação gama é atenuada de forma não-linear com a altura.

Para conhecer a função experimentalmente, são realizados vôos a diferentes alturas, no mesmo sentido, sobre uma anomalia conspícua situada em relevo suave, com o objetivo de determinar o coeficiente de atenuação atmosférica (μ), para os diversos canais. Mesmo sendo este o procedimento adotado, vale lembrar que a expressão $N = N_0 e^{-\mu h}$ é válida somente onde a radioatividade é constante, ou seja, onde não há anomalias.

Darnley (1973 *apud* Anjos & Mourão 1988) mostrou que entre 50 e 250m a intensidade da radiação obedece aproximadamente à expressão anterior, na qual:

N_0 = a radiação medida na superfície e

μ = ao coeficiente de atenuação atmosférica.

Então: $\ln(N) = -\mu h + \ln(N_0)$ que é a equação de uma reta com coeficiente angular $-\mu$, e $\ln(N_0)$ é o termo independente.

A fim de obter a função matemática mais próxima dos dados medidos, μ e $\ln(N_0)$ são calculados pelo método dos mínimos quadrados sobre todos os pontos de medidas, onde n é o número de valores registrados, como se segue:

$$\mu = \frac{\Sigma h \cdot \Sigma \ln(N) - n \Sigma \frac{(H \cdot \ln(N))}{n \cdot \Sigma h^2} - (\Sigma H)^2}{n \cdot \Sigma h^2} \quad e$$

$$\ln(N_0) = \frac{\Sigma h^2 \Sigma \ln(N) - \Sigma h \Sigma \frac{[h \ln(N)]}{n \cdot \Sigma h^2 - (\Sigma h)^2}}{n \cdot \Sigma h^2 - (\Sigma h)^2} .$$

A tabela a seguir apresenta os dados dos registros digitais corrigidos do Efeito Compton para a subárea 6. O processamento desses dados resultou nos seguintes índices, de acordo com Anjos e Mourão (1988):

Canais	$\ln(N_0)$	N_0	μ
Th	6,4554090	636,13	0,0061777
U	4,9162807	136,49	0,0039582
K	6,4304056	620,43	0,0067961
Ct	9,3671246	11.697,43	0,0060217

A Figura 27 exibe o gráfico representativo da atenuação atmosférica para cada canal da subárea 6. Com os coeficientes de atenuação calculados, Anjos e Mourão (1988) procederam à correção da radiação gama para uma mesma altura (150m), através da expressão:

$$D = D_0 \times e^{-\mu(h+150)} ,$$

onde:

D é o valor do canal corrigido para a altura de 150m;

D_0 é o valor do canal corrigido do Efeito Compton;

h é a altura na qual foi efetuada a medição (positiva para cima);

μ é o coeficiente de atenuação atmosférica para cada canal.

5.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE CONTORNO DE K, U E Th, DAS RAZÕES U/K, U/Th E Th/K ALÉM DO PARÂMETRO F DA SUÍTE INTRUSIVA DE ITU

A partir dos dados aerogamaespectrométricos corrigidos, gentilmente cedidos pela CPRM, e com a devida anuência do DNPM, foi selecionada uma área correspondente aos dados gamaespectrométricos terrestres.

Inicialmente foi elaborado um mapa geral de pontos aerogamaespectrométricos, conforme ilustra a Figura 28. Observa-se, comparando os dois mapas de pontos (figuras 19 e 28), que a densidade de informação aerogeofísica é muito maior (cerca de 4800 pontos aéreos contra 138 terrestres).

Com base nos dados aéreos, foram geradas malhas utilizando-se o mesmo método de interpolação e os mesmos parâmetros empregados no tratamento dos dados terrestres.

Figura 27 - Gráfico representativo da atenuação atmosférica.
(conforme Anjos & Mourão 1988)

(DADOS DE ANJOS & MOURAO 1988)

FIGURA 28 SUITE ITU - MAPA GERAL DE PONTOS AEROGAMAESPECTROMETRICOS

FERREIRA F.J.F. 1991

Também empregando os mesmos métodos e parâmetros de contorno, foram construídos os mapas de K, U e Th, das razões U/K, U/Th e Th/K além do parâmetro F, como representado nas figuras de números 29 a 35.

Entretanto, levando em conta a discrepância entre as densidades de informação, foi elaborado um programa pelo **Depex/Sepran**, da **Petrobrás**, o qual basicamente compara as coordenadas dos pontos em terra com as correspondentes aéreas e seleciona os pontos a partir da distância mínima entre eles. O menor valor verificado foi de 4,68m, e o maior, de 628,32m, sendo que 90% dos mesmos encontravam-se entre 100 e 350m. A Figura 36 mostra o mapa de pontos assim gerado, semelhante, pois, ao mapa de pontos terrestres.

Com relação aos dados aéreos selecionados, foram elaboradas malhas com o mesmo método de interpolação e os mesmos parâmetros das redes anteriores. Empregando ainda aqueles métodos e parâmetros de contorno, foram gerados os mapas de K, U e Th, das razões U/K, U/Th e Th/K bem como do parâmetro F, como pode-se visualizar nas figuras de números 37 a 43.

5.4 ANÁLISE DOS MAPAS GAMAESPECTROMÉTRICOS AÉREOS E TERRESTRES DA SUÍTE INTRUSIVA DE ITU

Em relação ao K, os mapas das figuras 20, 29 e 37 são semelhantes. No tocante ao granito Itupeva, canto nordeste da área, observa-se que os mapas das figuras 20 e 37 são mais concordantes, indicando duas áreas anômalas separadas por cunha do embasamento. Já no mapa da Figura 29, elaborado a partir de todos os pontos aerogamaespectrométricos, essas áreas aparecem interligadas.

Os granitos Salto e Fazenda Cruz Alta, extremos sudoeste e sul da área, respectivamente, são bem identificados nas figuras 20 e 37. O mapa da Figura 29, por sua vez, envolvendo todos os pontos aéreos, é o único que identifica o granito Fazenda Japão, no centro da área.

É interessante observar, ainda no tocante ao K, anomalias entre as coordenadas UTM 7.435.000-7.440.000 e 275.000-280.000 presentes apenas nos mapas aéreos das figuras 29 e 37, que correspondem a pequeno corpo granítico circular, segundo o mapa geológico do Anexo XVII.

Quanto ao U, os mapas das figuras 21, 30 e 38 apontam semelhanças com relação ao granito Itupeva, naquelas subáreas separadas por cunha do embasamento. A correlação é mais nítida quando se compara o mapa de gamaespectrometria terrestre com o aéreo, o qual envolve todos os pontos.

O granito Salto é bem identificado somente no mapa terrestre da Figura 21. Os granitos Fazenda Cruz Alta e Fazenda Japão, ao contrário, são bem identificados no mapa da Figura 38, não apresentando reflexos no mapa terrestre da Figura 21, talvez devido ao número de pontos.

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

FIGURA 29 SUITE ITU - CONTO DO POTÁSSIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

KM

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 30 SUITE ITU - CONTOURO DO URÂNIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 31 SUITE ITU - CONTOURO DO TORIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 32 SUITE ITU - CONTORNO DA RAZÃO U/K (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

FIGURA 33 SUITE ITU - CONTOURNO DA RAZÃO U/TH (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 34 SUITE ITU - CONTOURNO DA RAZÃO TH/K (AEROGAMASPECTROMETRIA)

0 2.5 5 7.5 10 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 35 SUITE ITU - CONTOURNO DO PARÂMETRO F (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 36 SUITE ITU - MAPA DE PONTOS AEROGAMASPECTROMETRICOS

FERRERIA F.J.F. 1991

FIGURA 37 SUITE ITU - CONTOURO DO POTÁSSIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 38 SUITE ITU - CONTOURO DO URANIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 39 SUITE ITU - CONTOURNO DO TORIO (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERRIRA F.J.F. 1991

FIGURA 40 SUITE ITU - CONTOURO DA RAZÃO U/K (AEROGAMMAESPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 41 SUITE ITU - CONTOURO DA RAZAO U/TH (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 42 SUITE ITU - CONTOURO DA RAZAO TH/K (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

FIGURA 43 SUITE ITU- CONTORNO DO PARÂMETRO F (AEROGAMASPECTROMETRIA)

FERREIRA F.J.F. 1991

No tocante à área compreendida pelas coordenadas antes referidas, nota-se uma flagrante contradição entre os mapas das figuras 21 e 38, ou seja, enquanto no mapa terrestre registra-se um alto, no da Figura 38 observa-se um baixo.

Com respeito ao Th, os mapas das figuras 22 e 31 mantêm um comportamento muito semelhante em relação ao granito Itupeva. O granito Salto aparece com valores elevados nos três mapas, com destaque para o da gamaespectrometria terrestre.

É interessante observar a manutenção da anomalia entre as coordenadas já referidas apenas no mapa da Figura 22. Por outro lado, somente os mapas aéreos revelam valores elevados, no centro da área, correspondentes ao granito Fazenda Japão (figuras 31 e 39).

No que se refere aos mapas da razão U/Th, nota-se uma certa concordância, relativa ao granito Itupeva, sobretudo entre os mapas das figuras 24, 33 e 41. O granito Salto é bem caracterizado no mapa terrestre da Figura 24.

Em relação à razão U/K, os mapas das figuras 23, 32 e 40 não indicam correlação nítida entre si.

Por fim, quanto à razão Th/K, além da definição das diversas fácies, verificam-se anomalias aéreas no centro da área (figuras 34 e 42), indicando um enriquecimento do Th no que diz respeito ao K, como sugerido por Pascholati (1990). Nota-se que o enriquecimento do Th existe também com relação ao U, como pode-se observar no mapa da razão Th/U, para dados de laboratório, apresentado por Pascholati (1990, p. 99).

5.5 COMPARAÇÃO NUMÉRICA ENTRE OS DADOS GAMAESPECTROMÉTRICOS TERRESTRES E AÉREOS DA SUÍTE INTRUSIVA DE ITU

Para proceder à comparação numérica entre os dados gamaespectrométricos terrestres e aéreos, os dados das concentrações em % e ppm dos radioelementos K, U e Th foram transformados em cps, de acordo com as seguintes equações indicadas em Pascholati (1990):

$$K = 1/cK [nK - \gamma(nU - \alpha nTh) - \beta nTh] ;$$

$$eU = 1/cU(nU - \alpha nTh) ;$$

$$eTh = 1/cTh(nTh) ;$$

onde dados:

$$\alpha = 0,656; \quad \beta = 0,715; \quad \gamma = 0,780 ;$$

$$cK = 0,12; \quad cU = 0,33; \quad cTh = 3,60 .$$

K, eU e eTh são os teores em %(K) e ppm(eU e eTh); a partir dos dados anteriores calcularam-se, então, nK, nU e nTh, que são os valores em cps.

Uma vez procedida a transformação e na tentativa de visualizá-la, foram produzidas, com as mesmas características, as malhas envolvendo os 138 pontos em % e ppm, além de cps, para cada variável. Em seguida, realizou-se uma regressão linear, em teores e cps, para os pares de variável (K, U e Th), através de um programa desenvolvido pelo **Sepran**. As figuras 44, 45 e 46 exibem as retas de regressão assim calculadas.

Verifica-se que, no tocante ao K (Figura 44), o coeficiente de correlação é de 0,98; em relação ao Th (Figura 45), o coeficiente é de 0,96, ao passo que para o U, esse índice é de apenas 0,75 (Figura 46).

Apesar de ambos os conjuntos de dados, os terrestres e os aéreos, terem sido corrigidos, a comparação entre eles padece ainda de uma série de limitações. As principais são, além da diferença entre os volumes dos cristais, a velocidade da aeronave (aproximadamente 350km/h) e o fato de que as medidas terrestres são pontuais, enquanto as aéreas representam uma média de pontos atingidos pelo sensor. Assim, é de se esperar que os resultados não sejam bem correlacionáveis.

Darnley e Fleet (1968 *apud* Killeen 1979) construíram perfis comparativos entre dados espectrométricos terrestres e aéreos. Nota-se, na Figura 47, que existe uma boa correlação entre esses dois conjuntos. É importante assinalar que o trabalho foi planejado com essa finalidade, como um teste na mina de U de Brancroft, Canadá. O levantamento aéreo foi realizado com três detectores de NaI(Tl) de 125x125mm, instalados em um helicóptero, a uma velocidade de 40km/h e a uma altura de 90m. Já o terrestre foi efetuado com espaçamento de 60m entre as estações, a partir da integração das medidas dentro de uma área circular com 150m de raio, sucessivamente deslocada em relação à linha de voo.

Como já foi visto, os dados aerogamaespectrométricos foram corrigidos para uma altura de 150m. Se $N = N_0 \cdot e^{-\mu h}$,

onde:

N = contagem (cps) de cada canal a uma altura $h = 150\text{m}$;

N_0 = contagem (cps) correspondente à altura zero e;

μ = coeficiente de atenuação atmosférica de cada canal, então: $N_0 = Ne^{\mu h}$.

Dados N e h para cada canal, calculou-se N_0 , ou seja, a radiação, em cps, na superfície. Os fatores que multiplicam o conjunto de dados aéreos a uma altura de 150m para se obter o equivalente na superfície são: K = 2,77157, U = 1,81073 e Th = 2,52521.

A partir dos dados aéreos, em cps, correspondentes ao conjunto de 138 pontos, reduzidos à altura zero, procedeu-se à correlação entre as malhas geradas com as mesmas características, relativas aos valores, em cps, medidos no terreno. Os coeficientes de correlação foram os seguintes: K = 0,37, U = 0,22 e Th = 0,52, portanto baixos.

O mesmo procedimento foi adotado novamente, desta feita comparando as malhas que envolvem todos os dados aerogamaespectrométricos, reduzidos à altura zero, com os

EIXO "X"		EIXO "Y"	
'I405. ITU. GAMA. POTASSIO. CPS'		'I405. GRID. ITU1. POTASSIO'	
NUMERO DE LINHAS =>	55	NUMERO DE LINHAS =>	55
NUMERO DE COLUNAS =>	61	NUMERO DE COLUNAS =>	61
ESCALA EM X =>	500.00	ESCALA EM X =>	500.00
ESCALA EM Y =>	500.00	ESCALA EM Y =>	500.00
X - ORIGEM =>	262000.00	X - ORIGEM =>	262000.00
Y - ORIGEM =>	7421000.00	Y - ORIGEM =>	7421000.00
ANGULO =>	0.00	ANGULO =>	0.00
X - ESQUERDO =>	262000.00	X - ESQUERDO =>	262000.00
Y - INFERIOR =>	7421000.00	Y - INFERIOR =>	7421000.00
Z - MINIMO =>	37.40	Z - MINIMO =>	0.10
Z - MAXIMO =>	898.48	Z - MAXIMO =>	6.74
Z - MEDIO =>	452.93	Z - MEDIO =>	3.15
DESVIO PADRAO =>	136.70	DESVIO PADRAO =>	1.00
VALORES DUMMY =>	1706	VALORES DUMMY =>	1701
CORRELACAO =>		0.98	
COEFICIENTE ANGULAR =>		0.71	
COEFICIENTE LINEAR =>		0.21	

Figura 44 – Regressao linear entre contagens por segundo (cps) e teores (%) de K na Suite Intrusiva de Itu (dados de Pascholati 1990).

EIXO "X"		EIXO "Y"	
'I405. ITU. GAMA. TORIO. CPS'		'I405. GRID. ITU. TORIO'	
NUMERO DE LINHAS =>	55	NUMERO DE LINHAS =>	55
NUMERO DE COLUNAS =>	61	NUMERO DE COLUNAS =>	61
ESCALA EM X =>	500.00	ESCALA EM X =>	500.00
ESCALA EM Y =>	500.00	ESCALA EM Y =>	500.00
X - ORIGEM =>	262000.00	X - ORIGEM =>	262000.00
Y - ORIGEM =>	7421000.00	Y - ORIGEM =>	7421000.00
ANGULO =>	0.00	ANGULO =>	0.00
X - ESQUERDO =>	262000.00	X - ESQUERDO =>	262000.00
Y - INFERIOR =>	7421000.00	Y - INFERIOR =>	7421000.00
Z - MINIMO =>	9.67	Z - MINIMO =>	1.46
Z - MAXIMO =>	247.00	Z - MAXIMO =>	74.60
Z - MEDIO =>	102.68	Z - MEDIO =>	28.79
DESVIO PADRAO =>	39.30	DESVIO PADRAO =>	11.07
VALORES DUMMY =>	1711	VALORES DUMMY =>	1689
CORRELACAO =>		0.96	
COEFICIENTE ANGULAR =>		2.67	
COEFICIENTE LINEAR =>		4.16	

Figura 45 - Regressao linear entre contagens por segundo (cps) e teores (ppm) de Th na Suíte de Itu (dados de Pascholati 1990).

EIXO "X"		EIXO "Y"	
'I405. ITU. GAMA. URANIO. CPS'		'I405. GRID. ITU. URANIO'	
NUMERO DE LINHAS =>	55	NUMERO DE LINHAS =>	55
NUMERO DE COLUNAS =>	61	NUMERO DE COLUNAS =>	61
ESCALA EM X =>	500.00	ESCALA EM X =>	500.00
ESCALA EM Y =>	500.00	ESCALA EM Y =>	500.00
X - ORIGEM =>	262000.00	X - ORIGEM =>	262000.00
Y - ORIGEM =>	7421000.00	Y - ORIGEM =>	7421000.00
ANGULO =>	0.00	ANGULO =>	0.00
X - ESQUERDO =>	262000.00	X - ESQUERDO =>	262000.00
Y - INFERIOR =>	7421000.00	Y - INFERIOR =>	7421000.00
Z - MINIMO =>	0.24	Z - MINIMO =>	0.09
Z - MAXIMO =>	164.58	Z - MAXIMO =>	14.53
Z - MEDIO =>	68.91	Z - MEDIO =>	4.15
DESVIO PADRAO =>	26.20	DESVIO PADRAO =>	2.25
VALORES DUMMY =>	1711	VALORES DUMMY =>	1701
CORRELACAO =>	0.75		
COEFICIENTE ANGULAR =>	0.65		
COEFICIENTE LINEAR =>	0.22		

Figura 46 - Regressao linear entre contagens por segundo (cps) e teores (ppm) de U na Sulte de Itu (dados de Pascholati 1990).

Figura 47 - Perfis medidos através da gamaespectrometria aérea e terrestre na área de Bancroft, Escudo Canadense.
(conforme Darenley & Fleet 1968, modificado de Killeen 1979)

correspondentes, em cps, medidos no terreno. Os coeficientes de correlação alcançados foram os seguintes: $K=0,44$, $U=0,54$ e $Th=0,37$, portanto melhores em relação ao K e ao U e pior para o Th.

É evidente que a correlação seria melhor se os dados superficiais representassem integração em áreas circulares equivalentes às aquelas atingidas pelos sensores aéreos e, sobretudo, se tais áreas se deslocassem sucessivamente em relação à linha de vôo, como a experiência realizada por Darnley e Fleet (1968).

5.6 MACIÇOS SOROCABA, SÃO FRANCISCO E MORUNGABA

O item anterior dedicou-se basicamente a um estudo comparativo entre dados terrestres e aéreos, através do qual constatou-se que os dados aerogamaespectrométricos detêm um poder de resolução satisfatório, no que diz respeito à individualização dos diversos corpos da Suíte Intrusiva de Itu. Esse estudo foi efetuado por meio do mapeamento dos níveis de radiação de K, U e Th.

Neste item é desenvolvida uma tentativa de estudo da resolução dos dados aéreos em relação às fácies e às associações de fácies (unidades de mapeamento, segundo Vlach 1985) de alguns maciços granitóides, para a qual dispõe-se de dados geológicos, petrográficos e petroquímicos compatíveis com a escala de semidetalhe (1:50.000).

5.6.1 Dados Geológicos Gerais

Godoy (1989) apresentou um estudo detalhado sobre os maciços Sorocaba e São Francisco. Estes apresentam formas alongadas segundo a direção NE-SW, coincidindo com a orientação geral dos dobramentos das rochas encaixantes, e caracterizam núcleos de antiformais.

Tais maciços encontram-se inseridos no Grupo São Roque e foram considerados por Godoy (1989) como de colocação *sin a tardi e tardi* a pós-tectônica à fase principal de deformação $Dn+3$, pelo fato de não apresentarem foliação e desenvolverem uma auréola de metamorfismo de contato que possibilitou a geração de minerais índices bem como paragêneses metamórficas de fácies mais elevadas.

Os falhamentos transcorrentes, que controlaram os diferentes blocos tectônicos, continuaram ativos até o fim do ciclo Brasiliano, período durante o qual dirigiram o posicionamento e a geometria final dos corpos.

No mapa geológico do Anexo XVII, é nítido o controle tectônico do falhamento de Pirapora sobre a parte sul do maciço São Francisco assim como sobre as falhas menores a norte. A forma alongada do maciço Sorocaba e sua borda sul também vinculam-se à zona de falha de Jundiuvira, ou a suas ramificações terminais.

Godoy (1989) identificou, no maciço Sorocaba, zonas de falhas transcorrentes que separam a porção oriental, com direção ENE-WSW, da porção central, com direção NE-SW, e esta, por sua vez, da ocidental.

A parte oriental, segundo o autor acima, corresponderia a um bloco exposto mais profundo, caracterizado por uma maior homogeneidade das fácies, sendo os granitos 3B porfiróides cinza dominantes.

A parte central do corpo caracteriza-se por possuir, além de um maior número de falhas, grande variedade de fácies, com predomínio dos granitóides róseos.

O maciço São Francisco exibe seus contatos através de zonas de falha e apresenta maior homogeneidade de fácies. De acordo com Godoy (1989), seu mapeamento foi dificultado em função das condições de acesso à área, e dessa forma as relações entre as fácies foram mais bem estabelecidas no segmento ocidental do corpo, onde concentrou-se grande parte das análises petrográficas e químicas. Na maior porção do corpo predomina uma área arrasada, que constitui um planalto entre os contrafortes da serra. Nesse local verifica-se um solo espesso, associado a uma canga laterítica generalizada.

Segundo Vlach (1985), o maciço Morungaba pode ser dividido em três segmentos principais: um a sul, de forma grosseiramente retangular, um a norte, com forma de paralelogramo e separado do primeiro por uma lente gnáissica, e ainda um outro de forma lenticular, com direção geral NE-SW.

A orientação do maciço é concordante com as estruturas regionais que se dispõem segundo NNE; os contatos com as encaixantes são preferencialmente de natureza tectônica. De uma maneira geral, podem ser diferenciados dois grupos de rochas granitóides, com base em critérios geológicos: com megacristais de microclíneo e equigranulares.

a) Maciço Sorocaba

Godoy (1989) reconheceu 18 fácies distintas no maciço Sorocaba e as reuniu em 11 associações ou unidades de mapeamento, adotando como critério as características geológicas distribuídas segundo o mapa simplificado da Figura 48. Os atributos das associações podem ser encontrados em Godoy (1989); esse autor distinguiu no maciço três partes:

- parte oriental

É constituída pelas seguintes associações: porfiróide grosseira II, granodiorítica fina e porfirítica. Predomina a associação porfiróide grosseira II, composta de monzogranitos cinza e exibindo padrões mineralógicos e texturais homogêneos.

- parte central

É formada pelas seguintes associações: porfiróide rósea III, melaporfiróide rósea II, porfiróide rósea, porfiróide grosseira I e cinza, melaporfiróide rósea e equigranular, além da porfirítica. Predomina a associação porfiróide rósea III, sendo bastante homogênea e constituída fundamentalmente por monzogranitos róseos, com pequenas mudanças nas relações de tamanho entre os fenocristais de feldspato potássico e plagioclásio.

Figura 48 - Mapa geológico simplificado dos maciços Sorocaba (1), São Francisco (2) e Pirapora (3). (conforme Godoy 1989)

- parte ocidental

Compreende as seguintes associações: porfiróide rósea III, porfiróide média II e melaporfiróide rósea. Predomina a associação porfiróide rósea III, com um comportamento semelhante ao da parte central, achando-se encoberta a oeste pelas rochas da Bacia do Paraná e por uma "cobertura cenozóica" extensiva, o que dificultou, segundo Godoy (1989), o mapeamento dessa porção.

b) Maciço São Francisco

Godoy (1989) reconheceu sete tipos de unidades de mapeamento no maciço São Francisco. A nomenclatura bem como a divisão da fácies foram balizadas entre os termos equigranular e inequigranular (porfiróide e porfirítico), como pode-se observar no mapa geológico da Figura 48. Já as características das associações podem ser vistas em Godoy (1989).

As fácies porfiróide rósea média predominam nesse maciço, sobretudo na parte central; exibem pequenas variações locais no tamanho dos cristais de feldspato potássico e são constituídas fundamentalmente por rochas de composição sienogranítica.

c) Maciço Morungaba

Vlach (1985) elaborou um estudo detalhado sobre as regiões meridional e oriental do maciço Morungaba, no qual reconheceu 31 fácies granitóides que agrupou em 21 unidades de mapeamento ou associações de fácies. Para simplificar o processo, utilizou o seguinte esquema: melagranitóides (uma associação), granitóides a "dois feldspatos" (oito associações), róseos-acinzentados (duas associações), cinzentos (duas associações), granitóides pórfiros (duas associações) e granitóides porfiríticos (três associações).

As características principais dos agrupamentos encontram-se descritas em Vlach (1985), enquanto a distribuição das associações acha-se representada no mapa geológico da Figura 49.

- associações a sul da lente gnáissica de Joaquim Egídio

As associações mapeadas revelam como característica principal o fato de se distribuírem de forma zonada. As únicas rochas que, aparentemente, fogem a esse padrão são as pertencentes às associações cinzenta I, rósea-acinzentada I e, em parte, à associação dos melagranitóides, todas situadas a leste.

Os granitóides a "dois feldspatos" róseos grossos III encontram-se envolvidos por granitóides da associação rósea I; externamente distribuem-se os tipos a "dois feldspatos" róseos da associação II que, por sua vez, são circundados ora pelos tipos a "dois feldspatos" cinzentos ora pelos granitóides da associação rósea I.

- associações a leste da lente gnáissica de Joaquim Egídio

Nessa área domina a associação rósea III, com granitóides a "dois feldspatos" róseos médios II, em maior número na porção central e na borda leste.

Figura 49 - Mapa geológico simplificado das partes meridional e oriental do maciço Morungaba. (modificado de Vlach, 1985)

- associações a norte e nordeste da lente gnáissica de Joaquim Egídio

Os granitóides porfiríticos são dominantes e, em menor escala, os tipos a "dois feldspatos"; subordinadamente ocorrem granitóides cinzentos da associação II, róseos da associação III e melagranitóides. As associações porfiríticas acham-se rodeadas por associações a "dois feldspatos".

5.6.2 Respostas Aerogamaespectrométricas dos Maciços Sorocaba, São Francisco e Morungaba

Tomando como base os mapas geológicos simplificados das figuras 48 e 49 assim como os anexos I, II e III relativos ao K, ao U e ao Th, foram transferidas as informações geofísicas para os mapas geológicos, na tentativa de se verificar eventuais correlações. É importante assinalar que as médias ($\bar{x}$) e os desvios padrões (σ) foram tomados, para cada variável, de todos os pontos das malhas e não apenas daqueles pertinentes a cada maciço.

5.6.2.1 Maciço Sorocaba

a) Em relação ao K (Figura 50)

- predominância de índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$ na associação porfiróide grosseira II, equivalentes à parte oriental do maciço. Alguns núcleos alinhados existem, com índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$;
- predominância de índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$ (anomalia) nas associações porfiróide rósea III, porfiróide média II e porfiróide rósea; esses valores referem-se à parte central do maciço;
- a porção ocidental do maciço, talvez pela existência de amplas coberturas, não é bem caracterizada. É interessante notar a correlação de índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$, com núcleo da associação porfiróide média II.

b) Em relação ao U (Figura 51)

- predominância de índices menores que a $\bar{x}$ nas partes oriental e central, não se verificando relações com as fácies;
- predominância de índices entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$ na parte ocidental.

c) Em relação ao Th (Figura 52)

- predominância de índices menores que a $\bar{x}$ nas partes oriental e central, não sendo observadas relações com as fácies. Alguns núcleos apresentam índices entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$;
- predominância de índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x}$ na parte ocidental;

Figura 50 - Mapa das variações dos níveis de radiação do potássio para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora.
(mapa base conforme Godoy 1989)

Figura 51 - Mapa das variações dos níveis de radiação do urânio para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora.
(mapa base conforme Godoy 1989)

Figura 52 - Mapa das variações dos níveis de radiação do tório para os maciços Sorocaba, São Francisco e Pirapora.
(mapa base conforme Godoy 1989)

- predominância de índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$, coincidentes com a associação porfiróide média II.

5.6.2.2 Maciço São Francisco

a) Em relação ao K (Figura 50)

- predominância de índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$, preferencialmente nas fácies porfiróides róseas médias; entretanto, predominam índices abaixo da $\bar{x}$ e entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$ na parte centro leste;
- observam-se índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$ em alguns núcleos alinhados segundo o eixo maior do corpo, incluindo uma pequena área anômala.

b) Em relação ao U (Figura 51)

- predominância de índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$ na fácies principal do corpo (porfiróide rósea média) e na porfiróide rósea;
- predominância de índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$ nas demais fácies;
- predominância de índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$ em pequenas áreas.

c) Em relação ao Th (Figura 52)

- predominância de índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$ nas fácies porfiróide rósea média (principal), porfiróide rósea, porfiróide rapakivi e porfiróide rapakivi média;
- predominância de índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$ nas fácies equigranular rósea grossa e equigranular rósea a média.

5.6.2.3 Maciço Morungaba

a) Em relação ao K (Figura 53)

- na parte sul dessa suíte verifica-se nítida concordância entre um padrão concêntrico de zonalidade das fácies e um aumento do K das bordas para o centro;
- assim, as associações de granitóides róseos bem como a associação a "dois feldspatos" rósea I exibem índices superiores à $\bar{x} + 3\sigma$, o que constitui um núcleo anômalo;
- envolvendo esse núcleo predominam índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$, relativos às associações a "dois feldspatos" rósea II, além de cinzenta e rósea acinzentada;
- a porção mais externa do segmento sul da suíte, com índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$, é dominada pela associação a "dois feldspatos" cinzenta I;

Figura 53 - Mapa das variações dos níveis de radiação do potássio para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba. (mapa base conforme Vlach 1985)

- índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e superiores à $\bar{x} + 3\sigma$ predominam no segmento a norte da lente gnáissica de Joaquim Egídio, onde afloram tipos pertencentes à associação de granitóides porfíricos III;
- na porção nordeste da referida lente prevalecem índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$, com um núcleo médio entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$, envolvendo várias associações;
- nota-se que o núcleo entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$, no extremo norte da Figura 54, estende-se para oeste, incluindo valores maiores que a $\bar{x} + 3\sigma$, e predomina no restante da suíte, como pode ser observado no Anexo I.

b) Em relação ao U (Figura 54)

- na parte sul do Maciço de Morungaba observa-se boa concordância entre um padrão concêntrico de zonalidade das fácies e um aumento do U das bordas para o centro;
- entretanto, em comparação ao K, os índices diminuem rapidamente a partir do centro, sobretudo para norte, onde dominam índices abaixo da $\bar{x}$ e entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$;
- no núcleo central, todavia, os índices oscilam entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e são superiores à $\bar{x} + 3\sigma$;
- índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$ prevalecem na porção norte da lente gnáissica, onde afloram tipos pertencentes à associação de granitóides porfíricos III;
- no extremo nordeste da área, os índices são superiores à $\bar{x} + 3\sigma$. Percebe-se, no Anexo II, que tais valores continuam para oeste;
- nas porções leste e nordeste da lente gnáissica, os índices variam desde menores, que são a $\bar{x}$, até entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$, não se constatando relações nítidas com as fácies mapeadas.

c) Em relação ao Th (Figura 55)

- na parte sul da suíte verifica-se nítida concordância entre um padrão concêntrico de zonalidade das fácies e um aumento do Th das bordas para o centro;
- no núcleo central assim como na parte norte da lente gnáissica, predominam índices entre a $\bar{x} + 2\sigma$ e a $\bar{x} + 3\sigma$;
- na porção leste da lente gnáissica, prevalecem índices abaixo da $\bar{x}$;
- já no extremo nordeste da área, dominam índices anômalos que se prolongam para oeste, envolvendo o restante do Maciço (Anexo III).

Figura 54 - Mapa das variações dos níveis de radiação do urânio para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba. (mapa base conforme Vlach 1985)

Figura 55 - Mapa das variações dos níveis de radiação do tório para as partes meridional e oriental do maciço Morungaba. (mapa base conforme Vlach 1985)

5.6.3 Discussão dos Resultados Obtidos

De acordo com Godoy (1989), tomando como base as disposições das composições modais para o granito Sorocaba, as associações granodioríticas e monzograníticas da parte oriental do maciço correspondem a um *trend* cálcio-alcálico de médio K_2O (normal ou granodiorítico). Talvez em função desse fato, os índices aerogamaespectrométricos para o K sejam mais baixos na parte oriental que na central.

Ainda conforme o autor citado, as fácies ou associações de composição mais sienograníticas e monzograníticas não apresentam uma tendência clara, na parte central, para a série cálcio-alcálica de alto K_2O ou monzogranítica. De qualquer modo, o mapa da Figura 50 aponta valores anômalos para o K na parte central do corpo.

Godoy (1989) considerou que, sobretudo para a parte oriental do maciço, predominam modelos evolutivos de mistura de magmas ácidos e mais básicos, com esses últimos mais bem diferenciados, o que explicaria, em parte, os granodioritos e quartzo-monzodioritos desse segmento. Este, por sua vez, corresponderia a um bloco exposto em sua parte mais profunda, em comparação à porção central, mais rasa e portanto com níveis erosionais distintos.

Embora não seja comum, segundo Darnley (1972 *apud* Pascholati 1990), encontrar anomalias em granitos decorrentes apenas do K, como já mencionado, o aparente enriquecimento em K da porção central pode estar relacionado com a grande variedade de associações granitóides mapeadas, podendo o mesmo ter resultado de processos de diferenciação magmática. Convém lembrar que algumas associações aflorantes nesse segmento são sienograníticas, como a porfiróide média II e a porfiróide cinza I, além de corpos intrusivos tardios pouco expressivos.

Godoy (1989) admitiu que na parte central do maciço dominam associações de composição sienograníticas e monzograníticas de alto K_2O , apesar das relações modais não serem conclusivas, o que parece se refletir nos registros geofísicos do K.

A contradição entre os dados petrográficos e geofísicos é flagrante no Maciço São Francisco. Embora este seja pouco estudado, segundo Godoy (1989), os diagramas modais revelam que as rochas poderiam corresponder à série alcalina potássica, ou mesmo cálcio-alcálica de alto K_2O , contudo certamente de composição sienogranítica e monzogranítica. O que se observa no mapa da Figura 50 é a predominância de índices baixos, inclusive menores que a $\bar{x}$.

Uma explicação possível para esse processo poderia estar relacionada com a existência de uma grande área arrasada, onde predominam solos espessos associados a uma canga limonítica generalizada, o que atenuaria a emissão das radiações do K. A presença de crosta laterítica, provocando perda na detecção das radiações do K e mantendo índices elevados de U e Th, foi recentemente constatada pela CPRM (1991).

Com relação ao U e ao Th, os mapas das figuras 51 e 52 são semelhantes.

O maciço Sorocaba apresenta, em geral, níveis baixos de radiação. Apenas no tocante ao Th registraram-se índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$, correspondentes à associação porfiróide média II.

O maciço São Francisco, ao contrário, exhibe índices anômalos para o U e o Th. Esses valores devem ser explicados, aparentemente, pela relativa abundância de minerais radioativos, todavia não existem estudos que comprovem tal assertiva. Certamente eles encontram-se vinculados à ampla ocorrência de processos de greisenização e hidrotermalismo com conseqüente alteração de feldspatos, cloritização e geração de sulfetos tardios. A associação dos processos possibilitou, preferencialmente ao longo de fraturas, o desenvolvimento de inúmeras concentrações de minerais metálicos como wolframita, cassiterita, galena, pirita e outras registradas desde Knecht (1949).

Finalmente, Godoy (1989) considerou os maciços Sorocaba e São Francisco distintos, o que é evidente nos mapas de K, U e Th.

Embora o Complexo Morungaba constitua um dos maciços mais bem estudados da área, a discussão a seu respeito é essencialmente baseada em um trabalho de síntese de Vlach (1989), sobretudo devido a existir coerência entre as gradações dos índices de K, U e Th, como pode-se observar nas figuras 53, 54 e 55 bem como nos grupos de fácies mapeados (Figura 49). Por outro lado, verificou-se concordância, em especial no setor sul do Complexo, entre um padrão de zonalidade concêntrica das fácies e os índices dos radioelementos.

Vlach (1989) reuniu as associações de fácies definidas por ele em 1985, em conjunto com novos dados, da seguinte maneira:

- complexos - unidades compostas por rochas ígneas, parametamórficas e ortometamórficas;
- plútons - unidades formadas por uma ou várias intrusões, relacionadas no tempo, com padrão estrutural próprio e contatos em geral simples e contínuos;
- *stocks* - intrusões menores, isoladas.

O Plúton Arcia Branca (10% em área) aflora a norte das referidas figuras, entretanto, nos anexos I, II e III, é caracterizado por baixos valores de K, U e Th. Consiste na unidade mais antiga (610Ma), constituída por monzogranitos peraluminosos e equigranulares, sendo *sin a tardi*-cinemáticos.

O Complexo Ouro Verde (15% em área) exhibe baixos índices de K, U e Th, apesar destes serem compostos de variedades sienograníticas, monzograníticas e quartzomonzoníticas. Os baixos índices podem ser explicados pela presença pouco significativa de minerais radioativos, talvez resultante de inúmeras intercalações de metamorfitos dos complexos Itapira e Amparo.

O Plúton Jaguari (30% em área) ocorre a oeste das referidas figuras, todavia é perfeitamente caracterizado por índices anômalos de K, U e Th nos anexos I, II e III. Os elevados valores devem ser justificados pela ampla distribuição de minerais radioativos, ainda pouco estudados. É polintrusivo e petrograficamente muito variado, com sienogranitos, monzogranitos e granodioritos.

O Plúton Meridional indica elevados valores de K, U e Th assim como mostra coincidência entre padrões de zonalidades petrográficas e geofísicas concêntricas. Trata-se de um fenômeno interessante, o qual exige estudos detalhados da mineralogia radioativa e da sua distribuição. Além disso, os minerais radioativos deveriam ser quantificados, em cada fácies, para que se pudesse explicar tais relações. Esse corpo exibe grande diversidade petrográfica e é poliintrusivo, sendo formado por monzogranitos peraluminosos, biotita-monzogranitos, granodioritos híbridos, sienogranitos e outros tipos de granitos.

Por fim, o Plúton Oriental, mais homogêneo que o meridional, é constituído predominantemente de sienodioritos e monzogranitos equigranulares róseos, porém apresenta índices baixos de K, U e Th.

6 AEROGAMAESPECTROMETRIA REGIONAL

O capítulo aerogamaespectrometria regional compreende a geração das malhas e dos mapas de contorno de K, U, Th e contagem total (CT), das razões K/Th, K/U e U/Th bem como do parâmetro F, de toda a área objeto do estudo e indicada na Figura 1. Inclui ainda uma primeira abordagem de integração desses dados com os geológicos disponíveis.

6.1 GERAÇÃO DAS MALHAS E DOS MAPAS DE CONTORNO

Por tratar-se de um levantamento aerogeofísico, no qual a densidade de pontos ao longo das linhas de voo (1 ponto/100m) é cerca de 10 vezes maior que o espaçamento entre as mesmas, optou-se pela aplicação de um programa, para a geração das malhas, implantado no sistema computacional do **Depex/Petrobrás**, desenhado para contemplar naturezas de distribuição de dados como a referida.

Um método bidirecional de geração de malhas, como o utilizado, é baseado em dois procedimentos básicos, como ilustrado na Figura 56. Em um primeiro passo, os pontos são interpolados, um a um, ao longo da direção da linha original, gerando valores para cada intervalo regular escolhido, na interseção das linhas da malha com os dados observados. Os pontos de interseção assim calculados são interpolados perpendicularmente aos perfis geofísicos e na direção das linhas da malha, gerando um valor para cada nó do *grid*.

O programa permite que se utilizem, então, três opções de interpolação: linear, *cubic spline* e *Akima spline* (Figura 57). Existem ainda opções de pré-filtragem dos dados, antes da geração das malhas, ou outros filtros para eliminar uma dada faixa de frequência, se for o caso.

Tendo em vista que, uma vez definida a célula da malha (500m), os dados serão amostrados a intervalos correspondentes ao tamanho da célula, isso resulta na não reprodução de anomalias com comprimento de onda inferior a duas vezes a dimensão da célula. Ou seja, com uma célula de 500m, as anomalias menores que 1000m não serão representadas na malha, ou o serão de forma distorcida. Assim, para evitar a interferência de anomalias com comprimento de onda menor que o dobro da dimensão da célula nas anomalias de maiores comprimentos de onda - fenômeno denominado *alias* -, é necessário aplicar um filtro. Este, por sua vez, designado *anti alias*, é um filtro passa-baixa com frequência de corte correspondente ao dobro da dimensão da célula, o qual irá filtrar as anomalias com comprimentos de onda menores que 1000m, como no presente caso.

PROCEDIMENTO 1

OS DADOS DAS LINHAS GEOFÍSICAS
SÃO INTERPOLADOS GERANDO VA-
LORES NA INTERSEÇÃO COM AS
LINHAS DAS MALHAS.

PROCEDIMENTO 2

OS PONTOS DE INTERSEÇÃO SÃO
INTERPOLADOS PERPENDICULAR-
MENTE AOS PERFIS GEOFÍSICOS,
GERANDO UM VALOR PARA CADA
NÓ DA MALHA.

Figura 56 - Representação esquemática dos dois procedimentos básicos utilizados pelo método bidirecional de geração de malhas (BGRID). (conforme manual do BGRID)

Figura 57 - Comparação esquemática entre os métodos de interpolação "cubic spline" e "Akima spline".
(conforme manual do BIGRID)

Desse modo, os principais parâmetros para a geração das malhas foram os seguintes:

- comprimento da unidade da malha - 500x500m;
- direção das linhas da malha - paralela ao eixo x;
- frequência de corte do filtro *anti alias* - 0,001 ciclo/unidade de amostragem;
- interpolação linear ao longo das linhas de vôo;
- interpolação *Akima spline* ortogonal às linhas de vôo;
- coordenadas limites coincidentes com os dados originais.

As técnicas aplicadas internacionalmente para a apresentação dos resultados de um levantamento aerogamaespectrométrico são diversas. Killeen (1979), baseado em Darnley (1972), resumiu os vários métodos, ressaltando as vantagens e desvantagens de cada um deles.

Neste trabalho foi utilizada a forma corrente no *National Uranium Resource Evaluation* (Nure), do Departamento de Energia dos Estados Unidos, a qual é baseada na média como também no desvio padrão e aplicável, sobretudo, em áreas onde a geologia é relativamente bem conhecida (Foote e Humphrey 1976 e Saunders e Potts 1976 *apud* Killeen 1979).

Potts (1976 *apud* Killeen 1979) apresentou mapas de contorno de desvios padrões e das médias e denominou-os mapas de fatores de significância. Esses fatores são múltiplos do desvio padrão, tanto abaixo como acima da média, e foram considerados por esse autor como grau de raridade das medidas.

Levando em conta que o objetivo deste trabalho foi estudar a resolução do aerolevantamento, com ênfase nos maciços granitóides, não foram contornadas as curvas abaixo da média, o que constituiu uma limitação, em virtude de não possibilitar o discernimento de litologias de baixa radioatividade.

Dessa forma, foram gerados os mapas, em escala 1:500.000, de K, U, Th e da CT, das razões K/Th, K/U e U/Th bem como do parâmetro $F = K \cdot U / Th$, conforme os anexos I a VIII.

Como pode ser observado nas pranchas, as curvas selecionadas para contorno foram, para cada tema, as de $\bar{x}/2$, $\bar{x}$, $\bar{x} + 1\sigma$, $\bar{x} + 2\sigma$ e $\bar{x} + 3\sigma$, enquanto a elaboração das escalas de cores foi norteadas pelos seguintes intervalos: $0 - \bar{x}$; $\bar{x} > x + 1\sigma$; $\bar{x} + 1\sigma > \bar{x} + 2\sigma$; $\bar{x} + 2\sigma > \bar{x} + 3\sigma$; $> \bar{x} + 3\sigma$. As médias bem como os desvios padrões foram tomados das malhas e não dos dados originais. As diversas razões como também o parâmetro F foram gerados da mesma forma que para o K, o U e o Th não sendo preciso recorrer à divisão ou à multiplicação de malhas.

É freqüente, na literatura internacional, utilizarem-se as razões U/Th, U/K e Th/K; neste trabalho, contudo, são apresentadas as razões U/Th, K/U e K/Th.

Como pode-se observar no mapa geológico simplificado do Anexo XVII, aproximadamente 50% da área em questão abrange terrenos sedimentares e magmáticos da Bacia do Paraná, onde os valores de K, U e Th são muito baixos. Em consequência, os mapas elaborados a partir das razões Th/K e U/K revelaram valores acima da média praticamente em toda a área sedimentar. Por esse motivo, optou-se por inverter as razões, ressaltando, assim, os corpos granitóides.

É importante salientar que as médias foram calculadas envolvendo todos os pontos das malhas, para cada tema, e que as anomalias referem-se a essa média, não significando, necessariamente, anomalias *strictu sensu*.

Um procedimento mais adequado seria dividir a área em domínios geológicos conhecidos e calcular as anomalias em relação a esses compartimentos. Também pode-se recorrer à análise de agrupamento (*cluster analysis*), através da qual comparam-se os grupos com as unidades geológicas conhecidas, e da mesma forma calcular as médias (*background*) bem como as anomalias associadas aos mesmos.

6.2 INTEGRAÇÃO DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS E GEOLÓGICOS

A integração dos dados aerogamaespectrométricos e geológicos foi efetuada tomando como base os domínios definidos por Janasi e Ulbrich (1985), os quais agruparam os principais maciços granitóides do Pré-Cambriano paulista, cuja localização é indicada no mapa geológico do Anexo XVII. Uma das dificuldades encontradas, no sentido de responsabilizar as diversas anomalias observadas, foi a carência, na literatura, de estudos detalhados, qualitativos e quantitativos, das mineralogias radioativas. Assim, na maioria dos casos não foram identificados os minerais de Th, U e outros acessórios radioativos, nem tão pouco sua proporção e sua distribuição nos diversos maciços granitóides. Desse modo, a integração foi procedida da forma mais simplificada possível.

A radioatividade das rochas ígneas, oriunda do U e do Th, advém de três fontes principais de acordo com a CPRM (1990):

- minerais acessórios moderadamente radioativos;
- minerais essenciais fracamente radioativos;
- material radioativo, freqüentemente intersticial.

No que concerne ao K, a predominância encontra-se nos alumino-silicatos como os feldspatos potássicos e as micas.

Em geral, segundo Gregory (1960 *apud* CPRM 1990), a radioatividade total emanada pelas rochas ígneas é, em média, 40 a 45% resultante do Th, 40 a 45% do K e apenas 15 a 20% proveniente do U.

Os principais minerais acessórios primários responsáveis pela radioatividade das rochas graníticas e intermediárias são, de acordo com a CPRM (1990): zircão, spheno, apatita, allanita, xenotímio e monazita. Existem ainda outros como: uranothorita, thorianita, euxenita, thorita, pirocloro, chevkinita, fluorita, bastnasita e davidita. Pelo fato de ser mais abundante, o zircão é o principal responsável pela radioatividade nas rochas graníticas (CPRM 1990).

As variações dos níveis de radioatividade em um maciço granitóide podem ser decorrentes dos seguintes fatores, de acordo com a CPRM (1990):

- maior concentração de elementos radioativos em soluções hidrotermais, tardias, ao longo de fraturas ou zonas de falha;
- concentração de elementos radioativos em pegmatitos marginais;
- assimilação periférica de elementos radioativos das encaixantes;
- enriquecimento supergênico de elementos radioativos oriundos das cúpulas dos maciços.

6.2.1 Domínio Embu

Os granitóides do domínio Embu foram recentemente estudados por Janasi *et al.* (1990), em especial aqueles contidos entre as zonas de falha de Taxaquara e Caucaia. A Tabela 11 apresenta os parâmetros gerais dos principais granitóides, e a Figura 58, o mapa geológico simplificado da área.

Os granitóides do tipo Itapevi (monzogranitos), indicados na Figura 58, reúnem os maciços de Embu 1 e Itapevi e apresentam valores elevados de U (Anexo II), sendo anômalos para o primeiro, sobretudo em sua metade nordeste. Essa característica é comum também para os maciços de Caucaia e Embu, sugerindo assim uma provável correlação entre eles. Os demais corpos exibem índices baixos.

Em relação ao Th, valores anômalos são registrados apenas para os corpos de Itapevi, Embu 1 e Caucaia, com valores baixos nos demais indicados na Figura 58 e no Anexo XVII, à exceção daqueles da região de Piedade, com índices pouco elevados. É interessante observar que os granitóides anômalos para o Th acham-se intimamente relacionados com as zonas de falha de Caucaia e Taxaquara.

Os maciços dos tipos Ibiúna/Santa Isabel e Tapiraí (região de Cotia) apresentam como características comuns contagens abaixo da média para o U e o Th (anexos II e III). Já os granitóides do tipo Piedade, apenas parcialmente cobertos pelo aerolevante, revelam valores elevados para o U e o Th.

No tocante ao K, o traço principal dos granitóides desse domínio é exibir valores baixos, embora aqueles em torno de Piedade apontem índices mais elevados.

Tipo	Composição	Máficos	M	Textura, estrutura e cor típica	Manifestações associadas	Maçãos
Granitóides sin-orogênicos (ca 650Ma)						
IBIÚNA <i>X</i>	granodiorito-monzogranito	hb, bio (ti, all)	~ 15	porfirítico (FK 2-4cm), maciço a foliado tipo <i>Sta. Isabel</i> gnássi-co	enclaves microgranulares escuros, corpos díríticos	Ibiúna, Jurupará, Murundú, Bairro do Cupim
TAPIRAÍ	granodiorito-monzogranito	bio ($\pm$ hb) (ti, all)	~ 10	porfirítico (FK 1-2 cm), médio, foliado	enclaves microgranulares escuros	Tapiraí, Cotia
ITAPEVI <i>X</i>	monzogranito	bio (ti, all)	~ 8	inequigranular fino a médio, foliado, cinza	-	Itapevi (Taxaquara), Embu
TURVO	monzogranito	musc, bio ($\pm$ tur, gra)	~ 5	equigranular médio, foliado, branco	pegmatitos (tur, gra), segregações de tur-granitos	Turvo, Serra da Boa Vista
PIEIDADE <i>X</i>	granodiorito	bio ($\pm$ musc, monaz)	5-10	porfirítico (FK 1-2cm) a inequigranular, maciço a foliado	enclaves surmicáceos	Piedade, Sarapuí, Serra do Pinnal
Granitóides tardi- a pós-orogênicos (ca 600 Ma)						
SERRA DA BATÉIA	monzo e sienogranito	bio ($\pm$ ti, all)	~ 8	porfirítico (FK 2-3cm), fluxo magmático intenso	enclaves, diques sí-plutônicos (granodiorito)	Serra da Batéia, Córrego do Gázeo (?)
PILAR DO SUL	monzogranito	bio, musc $\pm$ flu, mt)	5-8	equigranular médio a fino maciço, róseo	alteração hidrotermal controlada por fraturas, localmente pervasiva	Pilar do Sul, Serra do Lopes

Tabela 11 - Características gerais dos granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Pilar do Sul/Piedade. (conforme Janasi *et al.* 1990)

Figura 58 - Mapa geológico simplificado da região Piedade - Ibiúna, com ênfase nas rochas granitóides. (conforme Janasi et al. 1990)

Em mapa genérico sobre os principais corpos granitóides do Paraná e da região sul de São Paulo, Wernick (1990) classificou o que denominou "Complexo Ibiúna" como pertencente aos tipos híbridos cálcio-alcálicos (4c), (4b) e aluminosos (3). Essa classificação é baseada no método da tipologia do zircão de Pupin (1980) e ilustrada na Figura 59.

É interessante observar que, de acordo com Maurice e Charbonneau (1987), os granitóides do tipo I, de Chappell e White (1974), manifestam uma correlação positiva entre o U e o Th, de sorte que as razões U/Th são normalmente mais baixas neles que nos granitos a duas micas. Tanto o U quanto o Th concentram-se nas partes mais evoluídas do magma granítico, resultando em uma radioatividade total elevada, como pode-se notar no Anexo IV. Assim, é possível que os granitóides Itapevi, Embu 1 e Caucaia sejam classificados como dos tipos I ou a magnetita, segundo Ishihara (1981), como é sugerido no item 7.4.1. Para Janasi *et al.* (1990), os elevados níveis de U e Th podem ser resultantes da relativa abundância de allanita e titanita. Outros acessórios incluem opacos, apatita e zircão; epidoto e fluorita são minerais secundários eventuais.

6.2.2 Domínio São Roque

O domínio São Roque engloba os maciços Sorocaba e São Francisco, pertencentes ao *Itu belt* de Vlach *et al.* (1990), comentados anteriormente. Acrescenta-se ainda que o último foi classificado de modo distinto pelo método da tipologia do zircão por Wernick e Galembeck (1986) e Godoy (1989). Enquanto os primeiros optaram por granitos mantélicos alcalinos (tipo 6), o outro autor classificou esse maciço como híbrido, de tendência subalcalina (tipo 5). O maciço Sorocaba foi qualificado pelos referidos autores como cálcio-alcálico (tipo 4c) e por Wernick (1990) como pertencente aos tipos 4c e 5 (híbrido subalcalino), ao passo que o São Francisco envolveu os tipos 5 e 6. Já Wernick *et al.* (1990) preferiram enquadrar o maciço Sorocaba somente no tipo 5.

É provável que as diferenças expostas acima estejam relacionadas com contrastes de distribuição e conteúdo de minerais radioativos nos maciços; todavia não existem, por ora, estudos voltados para sua caracterização e sua quantificação.

O traço gamaespectrométrico principal dos maciços São Roque e Tico-Tico é o fato destes serem anômalos para o U (Anexo II) e abaixo da média para o Th (Anexo III). Como também possuem K elevado (Anexo I), esses maciços resultaram nas mais expressivas anomalias do parâmetro F (além de uma anomalia central no maciço Sorocaba), de acordo com o Anexo VIII. Da mesma forma, o mapa da razão U/Th (Anexo VII) exhibe valores elevados para os dois corpos mencionados. O primeiro foi classificado como híbrido cálcio-alcálico (tipo 4b) por Wernick e Galembeck (1986); já Wernick (1990) e Wernick *et al.* (1990) o reclassificaram como do tipo 4a.

Todos os corpos a leste de São Roque, incluindo o maciço homônimo, foram reunidos por Janasi e Ulbrich (1985) como sendo pertencentes à Suíte Cantareira, à exceção do granito Tico-Tico (muscovita-biotita granitóide).

Campos Neto e Vasconcellos (1986) também os agruparam como granitóides *sin a tardi-tectônicos* (suítes Cantareira e Imbiruçu) e do mesmo modo separaram o granito Tico-Tico.

CLASSIFICAÇÃO DE GRANITÓIDES (segundo PUPIN, 1980)		
1	ALUMINOSOS	CRUSTAIS
2		
3		
4a	CÁLCIO - ALCALINOS	HÍBRIDOS
4b		
4c		
ch		
5	SUBALCALINOS	MANTÉLICOS
6	ALCALINOS	
7	TOLEÍTICOS	

Figura 59 - TIPOS DE ZIRCÃO CARACTERÍSTICOS PARA AS DIFERENTES SÉRIES DE GRANITÓIDES.
(Segundo PUPIN 1980, modificado de WERNICK 1990)

O maciço Tico-Tico foi considerado por Carneiro (1983) como pré-tectônico à sua fase de dobramentos F2 e possui como acessórios mais comuns granada, muscovita, turmalina e zircão. Esse autor registrou a presença de veios pegmatíticos dobrados, associados ao granito, os quais poderiam encerrar minerais radioativos e, assim, em conjunto com outros da mesma natureza presentes no maciço, justificariam os elevados índices de U.

O que deve ser investigado são as causas dessas íntimas relações entre os maciços São Roque e Tico-Tico bem como as diferenças quanto aos demais corpos desse domínio.

O maciço São Roque, a julgar pelas informações geofísicas, deve ser diferenciado em suas porções norte, central e sul, entretanto ainda não se dispõe de mapeamentos faciológicos detalhados que comprovem essa hipótese.

É interessante notar que Pascholati *et al.* (1990) referiram médias de 4,1%, 5,6ppm e 12,3ppm para o K, o U e o Th do maciço São Roque e compararam esses valores com os dados da Suíte Intrusiva de Itu, concluindo, desse modo, que o primeiro é mais pobre em Th. Essa constatação harmoniza-se perfeitamente com os mapas do Th (Anexo III), da razão U/Th (Anexo VII) e do parâmetro F (Anexo VIII).

De acordo com Maurice e Charbonneau (1987), os granitos não-magnéticos (série ilmenita) de Ishihara (1977 e 1981), ou os do tipo S de Chappell e White (1974), os quais incluem os leucogranitos a duas micas, peraluminosos, são normalmente mais uraníferos em relação aos toríferos e, por consequência, resultam em razões U/Th mais elevadas que os outros tipos de granitos. Tais autores acrescentam ainda que o U eleva-se com a diferenciação associada à sílica, enquanto o Th decresce, o mesmo acontecendo com o CaO e o TiO_2 . Citam, em adição, que nesse tipo de granito é freqüente a presença de veios de U e depósitos de U - Sn - W do tipo *greisen*, os quais formam-se através de hidrotermalismo e autometassomatismo em estágios tardios.

O maciço Tico-Tico pode, então, ser considerado do tipo S, o que parece ser aceito. O maciço São Roque, ao contrário, segundo Wernick *et al.* (1990), é muito pouco conhecido, com exceção da porção situada nos arredores do município homônimo, estudada por Coutinho (1953).

Dessa forma é difícil, por ora, sugerir uma classificação para o maciço São Roque, com base apenas nas informações gamaespectométricas. Entretanto, admite-se forte componente crustal na evolução magmática do corpo, o que parece caminhar no sentido da reclassificação proposta por Wernick (1990) e Wernick *et al.* (1990), como do tipo híbrido 4a, ou seja, no limite para granitos tipicamente crustais, de acordo com Pupin (1980). Também para esses autores, as características gerais do complexo são bastante semelhantes às dos granitos Mairiporã e Cantareira, embora os dados gamaespectrométricos sejam distintos, como referido.

Os demais corpos, como Itaquí, Cantareira, Mairiporã, Taipas, Vila dos Remédios, Ponunduva, e outros menores observados nesse domínio, apresentam, em geral, valores abaixo da média para U e Th.

Ferreira e Wernick (1989) estudaram o maciço Itaqui através de mapeamento faciológico e identificaram nove tipos petrográficos principais. Devido talvez ao contraste de escalas entre os mapas geofísico e geológico (1:500.000 x 1:25.000), a comparação entre eles ficou prejudicada. Deve-se notar, todavia, com respeito ao K, que a metade ocidental é mais rica (Anexo I); quanto ao U e ao Th (anexos II e III), por outro lado, os índices são baixos. Esse maciço foi considerado *tardi*-tectônico em relação à principal fase de deformação do Grupo São Roque e classificado como de natureza cálcio-alcálica de baixa temperatura, pelo método da tipologia do zircão.

Os maciços Cantareira e Mariporã foram reunidos por Wernick e Galembeck (1986) nos tipos crustais aluminosos (3) e reclassificados por Wernick (1990) e Wernick *et al.* (1990) como entre os tipos 3 e 4a.

6.2.3 Domínio Jundiáí

No domínio Jundiáí, os três maciços principais são os de Itu, Morungaba e Bragança Paulista. Os dois primeiros foram enquadrados por Wernick e Galembeck (1986) nos granitóides híbridos subalcalinos (tipo 5) e cálcio-alcálicos tipo 4b, respectivamente. Para Wernick (1990), o maciço de Itu envolve os tipos 4c, 5 e 6, sendo mantida a proposição anterior para o maciço de Morungaba. É possível que essa diversidade classificatória da Suíte Intrusiva de Itu esteja relacionada com eventuais naturezas distintas dos diversos corpos identificados por Pascholati (1990), contudo as relações não são nítidas desse ponto de vista.

O maciço de Bragança Paulista, com grande expressão em área, apresenta como característica gamaespectrométrica principal elevados níveis de radiação do Th (Anexo III); no tocante ao U, os valores predominantes encontram-se abaixo da média e já com respeito ao K, predominam índices também abaixo da média. Na área de exposição da Suíte Catapora, a sul da cidade de Socorro, entretanto, os índices de K podem chegar até a $\bar{x} + 2\sigma$. Para Wernick (1990), o maciço de Bragança Paulista enquadra-se no tipo 4c, híbrido e cálcio-alcálico.

É notável, do ponto de vista da resolução do método, a perfeita definição dos corpos de Itatiba e de outros dois imediatamente a sul de Bragança Paulista. Os três são anômalos em relação ao K (Anexo I).

No que se refere ao U (Anexo II), apenas o maciço de Itatiba apresenta valores elevados, enquanto os outros exibem índices abaixo da média.

Quanto ao Th (Anexo III), somente os corpos a sul de Bragança Paulista revelam valores acima da $\bar{x} + 3\sigma$ (anomalia).

Campos Neto e Vasconcellos (1986) denominaram o corpo mais próximo a Bragança Paulista suíte granítica Salmão e o outro como pertencente a um conjunto de corpos, englobados como suíte granito-migmatítica Catapora (F1 e F3, Anexo XVII).

A Suíte Salmão corresponde a granitos eqüigranulares e ineqüigranulares cinzas e róseos além de alaskíticos. Foi enquadrada por Campos Neto e Vasconcellos (1986) como de derivação crustal, podendo corresponder a termos mais diferenciados da série cálcio-alcalina de alto K.

A Suíte Catapora envolve um conjunto de granitos mobilizados com estruturas migmatíticas. Aliás, a maior expressão dessa suíte, a de Nazaré Paulista, é perfeitamente caracterizada por valores anômalos de Th (Anexo II), semelhante, pois, àquelas duas anomalias a sul de Bragança Paulista. Assim, do ponto de vista dos registros do K, do U e do Th, não existem diferenças entre as suítes Salmão e Catapora. O maciço de Nazaré Paulista foi classificado por Wernick (1990) e Wernick *et al.* (1990) como de derivação crustal, aluminoso e do tipo 2.

Os demais corpos de pequena expressão no domínio Jundiá, sejam biotita granitóides ou granitóides migmatíticos, assim denominados por Janasi e Ulbrich (1985) F2, F10, F11 e F12 (Anexo IX), são caracterizados, em geral, por valores relativamente elevados para o K, porém mais baixos em relação ao U e ao Th (anexos II e III).

Destaca-se, entretanto, pela sua maior expressão em área, o maciço de Atibaia, o qual é definido por elevados valores de K. No que concerne ao U e ao Th, os índices variam desde abaixo da $\bar{x}$ até a $\bar{x} + 1\sigma$. Esse corpo foi determinado por Wernick (1990) como pertencente aos tipos 4c (cálcio-alcalino) e 5 (subalcalino).

Apesar dos maciços Cachoeira e Terra Nova, situados a SW de Jundiá, terem sido reunidos por Janasi e Ulbrich (1985) e Campos Neto e Vasconcellos (1986) em conjunto com outros pertencentes ao *Itu belt* de Vlach *et al.* (1990), as diferenças gamaespectrométricas entre o cinturão e os maciços são marcantes. O primeiro foi classificado como de derivação crustal (tipo 3), e o segundo, como híbrido, dos tipos 4c e 5 (Wernick 1990).

Os maciços Cachoeira e Terra Nova, por fim, são caracterizados predominantemente por índices abaixo da média para K, U e Th (anexos I, II e III), portanto distintos dos granitóides que Vlach *et al.* (1990) reuniram sob a denominação de *Itu belt*. Vale ressaltar que esses autores os incluíram no mapa da Figura 17, no entanto tomaram o cuidado de considerá-los ainda não-classificados, devido à insuficiência de dados.

6.2.4 Domínio Amparo

Desde o limite setentrional do maciço Morungaba até a zona de falha de Jacutinga, predomina um conjunto de valores elevados para o K, limitado a leste pela zona milonítica de Monte Sião e a oeste por rochas pertencentes ao Grupo Itapira (Anexo I). Essa delimitação coincide com o que Campos Neto e Vasconcellos (1986) denominaram suíte granitóide Serra Negra, intrusiva no Grupo Itapira (Anexo XVII).

Para Janasi e Ulbrich (1985), essa faixa elevada de K envolve ortognaisses leucotonalíticos e graníticos além de graníticos migmatizados.

É interessante observar ainda dentro da faixa, com relação ao K, um núcleo abaixo da média, em torno de Serra Negra, que pode representar alguma variação litológica (tonalitos).

As unidades limítrofes, tanto a oeste (Grupo Itapira) quanto a leste (Grupo Andrelândia), são definidas por índices de K, U e Th abaixo da média.

No tocante ao U e ao Th (anexos II e III), a Suíte Serra Negra exhibe, em geral, valores abaixo da média, notando-se, porém, contagens mais elevadas para o U no segmento norte, a sul da falha de Ouro Fino.

A razão U/Th (Anexo VII) em geral é elevada para todo o domínio. Os valores anômalos acham-se distribuídos em pequenos núcleos aleatórios, chamando a atenção para aqueles que se prolongam para nordeste do maciço Morangaba, aparentemente acompanhando a zona de falha de empurrão (Anexo VII). Comportamento semelhante verifica-se com o parâmetro F (Anexo VIII) e a razão K/Th (Anexo IV).

Zonas anômalas para a razão K/Th são observadas a oeste de Serra Negra e Pedreira ou ainda entre as falhas de Jacutinga e Ouro Fino.

6.2.5 Domínio Guaxupé

O domínio Guaxupé estende-se desde a falha de Jacutinga até o limite setentrional da área. Pertence ao batólito Pinhal, onde Campos Neto e Vasconcellos (1986) identificaram as suítes graníticas São Sebastião da Gramma, granitóide Ipuiúna, ortomigmatítica São João da Boa Vista e granitóide-mangerítica São José do Rio Pardo. Wernick (1990), de forma generalizada, classificou o que denominou complexo granitóide Pinhal como do tipo 4c.

As rochas do batólito Pinhal-Ipuiúna foram estudadas recentemente por Vasconcellos e Janasi (1989), através de mapeamento faciológico. Para tais autores, a unidade mais antiga, designada informalmente São José da Prata, é constituída, em geral, por monzodioritos cinzentos equigranulares médios ou porfiríticos e ocupam cerca de 10% da área (Figura 60).

A outra unidade, denominada Ipuiúna, ocupa em torno de 55% da área total do batólito. Difere dos tipos do conjunto anterior por possuir uma composição mais diferenciada e de caráter uniformemente porfirítico.

Os granitos róseos, com baixo índice de cor, foram reunidos por Vasconcellos e Janasi (1989), na unidade Serra do Pau-d'Alho e ocupam cerca de 35% da área do batólito. Os tipos predominantes são biotita-sienogranitos grossos e porfiróides, por vezes hololeucocráticos. Também são comuns biotita-granitos inequigranulares médios.

Em relação ao K (Anexo I), as suítes não são discriminadas, prevalecendo neste domínio índices elevados e anômalos. Valores abaixo da média existem imediatamente a sul do maciço alcalino de Poços de Caldas, coincidentes com a suíte ortomigmatítica São João da Boa Vista, de Campos Neto e Vasconcellos (1986).

Figura 60 - Mapa geológico simplificado do batólito Pinhal - Ipuiúna (MG) (modificado de Vasconcellos & Janasi 1989)

Com respeito ao U (Anexo II), nota-se uma faixa anômala, posicionada segundo E-W, a norte da falha de Jacutinga e a sul de Pinhal/Ipuiúna, apresentando, em parte, relações com as unidades mapeadas por Vasconcellos e Janasi (1989) bem como com as suítes granitóides de São Sebastião da Gramma e Ipuiúna, de Campos Neto e Vasconcellos (1986). As demais áreas, tanto a norte como a sul da referida faixa anômala, apontam valores para o U abaixo da média.

Já quanto ao Th (Anexo III), o comportamento é semelhante ao do U na referida faixa E-W, com valores anômalos.

6.2.6 Domínio Bacia do Paraná

O segmento da área pertencente à Bacia do Paraná exhibe, em geral, valores de K, U e Th abaixo da média (anexos I, II e III) para as rochas sedimentares bem como para as magmáticas da Formação Serra Geral.

No que concerne ao U, entretanto, notam-se índices elevados predominantemente entre Pirassununga e Limeira, com valores anômalos a leste de Leme e a sul de Limeira, onde, de acordo com o mapa geológico do anexo XVII, afloram rochas magmáticas da Formação Serra Geral. No entanto, outras ocorrências da Formação Serra Geral, como aquelas de Aguaí, em torno de Mogi Mirim, a norte de Campinas e Americana além de outras menores, apresentam contagens desde abaixo da $\bar{x}$ até entre a $\bar{x}$ e a $\bar{x} + 1\sigma$ (Anexo II).

Em relação ao Th (Anexo III), apenas aquela ocorrência a leste de Leme revela índices entre a $\bar{x} + 1\sigma$ e a $\bar{x} + 2\sigma$. As demais indicam valores, em geral, abaixo da $\bar{x}$.

As rochas sedimentares indicadas no Anexo XVII exprimem valores abaixo da $\bar{x}$.

7 AEROMAGNETOMETRIA

Conforme mencionado no item 5.1, o levantamento aeromagnetométrico foi associado ao aerogamaespectrométrico de modo que o objeto desse capítulo constitui, além das correções procedidas nos dados magnéticos, cuja área de abrangência é indicada na Figura 1, uma interpretação qualitativa dessas informações, baseada nos produtos da aplicação de diversos filtros como gaussiano, passa-baixa, continuação para cima, redução ao pólo e susceptibilidade magnética aparente. Inclui ainda breves comentários teóricos sobre a metodologia empregada e uma tentativa preliminar e simplificada de integração dos dados aeromagnetométricos e geológicos da área estudada.

Os fundamentos da magnetometria podem ser encontrados em qualquer livro básico de introdução à geofísica, enquanto os procedimentos operacionais e as diversas etapas de processamento dos dados de um levantamento aeromagnetométrico podem ser vistos, por exemplo, em Ferreira (1982).

7.1 CORREÇÕES AEROMAGNETOMÉTRICAS

Anjos e Mourão (1988), após realizarem a reformatação, a crítica dos dados bem como a correção dos dados criticados, procederam às seguintes correções aeromagnetométricas:

7.1.1 Correção da Variação Diurna

Tal programa corrige os dados coletados da influência da variação magnética diurna a partir de registros tomados em uma estação base, nos quais são anotados o valor e a hora em que ocorre uma inflexão na curva, durante o intervalo de tempo de voo.

Essas informações constituem a entrada do programa de correção da variação diurna, utilizando o valor médio da estação base, através do qual a correção é processada.

7.1.2 Distribuição dos Erros - Nivelamento Magnético

Inicialmente a companhia que executa o aerolevanteamento identifica feições topográficas conspícuas, através de filmes de rastreo, mapas topográficos, fotomosaicos, imagens de satélite ou radar, e as correlaciona com as respectivas fiduciais. Posicionadas as linhas de voo, procuram-se nos filmes de rastreo os pontos de cruzamento entre os perfis de produção e controle; quando a identificação não é possível, os pares de fiduciais são obtidos por meio de interpolações.

Teoricamente os valores do campo magnético deveriam ser os mesmos em cada ponto de cruzamento. Na prática, contudo, sempre ocorrem diferenças ou erros de cruzamento, resultantes de:

- diferenças de altitude entre os perfis de produção e de controle;
- imprecisões na identificação dos pontos nos filmes de rastreo;
- imprecisões na identificação dos cruzamentos, sobretudo quando os mesmos são interpolados.

O programa de distribuição de erros visa, evidentemente, eliminar ou minimizar os erros, procedendo, assim, ao nivelamento magnético dos perfis.

O programa dispõe os dados magnéticos em matriz, com o objetivo de calcular as diferenças de valores nos pontos de cruzamento. Metade dessa diferença é atribuída, arbitrariamente, ao perfil de produção, e a outra metade, ao de controle.

Através dos valores obtidos no ajuste de retas calculadas pelo método dos mínimos quadrados e ponderando o tipo de cruzamento (calculado - de menor precisão e menor peso - e identificado - de maior precisão e maior peso) e o gradiente magnético na vizinhança da interseção (gradiente maior, menor peso), os erros são minimizados.

Normalmente são procedidas entre 10 e 15 iterações, segundo Anjos e Mourão (1988), para se obter o melhor resultado. A partir da correção dos pontos de cruzamento, o programa ajusta, por interpolação, os valores intermediários de cada perfil.

7.1.3 Redução do Campo Geomagnético (IGRF)

Tal correção consiste na subtração do campo geomagnético principal, definido por uma superfície de 2ª grau da forma: $Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$. O programa utilizado por Anjos e Mourão (1988) calcula os coeficientes da equação a partir dos seguintes dados:

- coordenadas da origem (24°30'/48°00');
- ano do levantamento (1978,8);
- altitude média de vôo (600m).

A superfície de 2ª é ajustada aos valores do campo principal da Terra, obtidos pelo *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*, em relação ao ano do levantamento. Uma vez determinados os coeficientes, a superfície é extrapolada para diversos pontos da área.

7.2 GERAÇÃO DA MALHA E DO MAPA DE CONTORNO

A malha de dados aeromagnéticos foi gentilmente cedida pela CPRM, Escritório do Rio de Janeiro, tendo sido gerada pelo método bidirecional de interpolação, conforme descrito no item 6.1, com as seguintes características:

- tamanho da célula - 250x250m;
- direção das linhas da malha - paralela ao eixo x;
- frequência de corte do filtro *anti alias* - 0,002ciclo/unidade de amostragem;
- interpolação linear ao longo das linhas de vôo;
- interpolação do tipo *Akima Spline* ortogonal às linhas de vôo;
- coordenadas limites - as mesmas do arquivo da subárea 6.

Anjos e Mourão (1988) aplicaram um filtro do tipo coseno direcional sobre os dados da malha, da seguinte forma:

$$L_{\theta} = \left| \cos^n \left(\alpha - \theta + \frac{\pi}{2} \right) \right| ,$$

onde:

θ = direção da componente de Fourier;

α = direção do filtro (90°);

n = grau da função coseno (0,5).

Essa expressão foi empregada com o objetivo de eliminar e/ou atenuar ruídos direcionais ocasionados, provavelmente, por pequenos desnivelamentos das linhas de vôo.

O mapa de contorno foi gerado a partir de uma malha interpolada linearmente com espaçamento entre os nós de 500m, por meio de um programa disponível no Depex/Petrobrás (Anexo IX). As curvas de isovalores foram selecionadas de 20 em 20nT, enquanto que a escala de cores foi construída com intervalos de 10 em 10nT (Anexo IX).

7.3 INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA - BASES TEÓRICAS

Para proceder à interpretação qualitativa dos dados aeromagnéticos representados no Anexo IX, utilizou-se de um conjunto de programas reunidos sob a designação **Magmap** (1986), disponível no sistema de processamento do **Depex/Petrobrás**.

Magmap é um sistema de filtragem bidimensional, planimétrico, de dados magnéticos que opera a partir de malhas e no domínio da frequência. Inclui, de um modo geral, as seguintes opções:

- susceptibilidade magnética aparente;
- derivadas verticais de ordem n ;
- separação regional/residual incluindo filtragens passa-alta, passa-baixa, passa-banda, *Weiner optimum noise*, coseno *roll-off* e outros filtros com funções definidas;
- reduções ao pólo ou ao equador magnético;
- filtros direcionais;
- espectros de potência radiais ou direcionais.

O sistema é aplicado no domínio da frequência, valendo-se da teoria desenvolvida por Bhattacharyya (1966) e posteriormente expandida e aplicada por Spector e Grant (1970). De acordo com o manual do **Magmap**, o sistema foi testado e aperfeiçoado sucessivamente durante mais de dez anos, período durante o qual foram testados mais de cinco milhões de quilômetros lineares de dados potenciais aéreos, terrestres ou marítimos.

As bases teóricas envolvidas no sistema, relatadas a seguir, foram condensadas a partir do manual do **Magmap** (1986).

De um modo geral, quando se coletam dados em uma superfície bidimensional, passíveis de representação em planta, é comum reordená-los na forma de malha, com os pontos espaçados por uma determinada distância. Os valores de cada nó da malha são interpolados a partir dos dados observados, através de um programa qualquer de geração de malhas. Os dados assim distribuídos podem ser utilizados para a confecção de mapas de contorno, por meio de programas específicos.

No caso de dados de métodos potenciais, dispostos em malha, assume-se que a superfície pode ser representada por um conjunto de prismas verticais de base quadrada e a uma profundidade constante abaixo do plano de observação (Bhattacharyya 1966). Caso se considere que o tamanho de cada prisma é o mesmo da célula da malha, então o campo magnético em cada ponto (x, y) da rede pode ser assim expresso:

$$\Delta T_{(x,y)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta T' (x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta,$$

onde $\Delta T'(x - \xi, y - \eta)$ é a contribuição do prisma localizado no ponto (ξ, η) , para o campo potencial total do ponto (x, y) .

Para o campo magnético, esse termo é uma função dos seguintes parâmetros:

$$\Delta T'(x - \xi, y - \eta) = f[x, y; k(\xi, \eta); h(\xi, \eta); t(\xi, \eta); a, b, I, D, \bar{F}_0],$$

onde:

- k = susceptibilidade magnética;
- h = altura do plano de observação;
- t = dimensão vertical do prisma ($t = \infty$ no **Magmap**);
- a e b = dimensões x e y do prisma ($x=y$ =tamanho da célula no **Magmap**);
- I e D = inclinação e declinação do campo geomagnético (ambos induzidos);
- F_0 = intensidade do campo geomagnético total.

Para tornar-se operacional, o **Magmap** transforma os dados bidimensionais $\Delta T(x, y)$ do domínio do espaço para o domínio da frequência, utilizando uma versão modificada do algoritmo de Cooley e Turkey (1965), através da transformada bidimensional de Fourier:

$$\Delta J_{(u,v)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta T_{(x,y)} e^{-i(ux, vy)} dx dy ;$$

$$\Delta T_{(x,y)} = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta J_{(u,v)} e^{i(ux, vy)} du dv ,$$

onde u e v são os números de onda nas direções x e y .

Os números de onda acham-se relacionados com as frequências, no domínio do espaço (ciclos/unidade de comprimento), com base nas seguintes expressões:

$$u = 2\pi f_x \text{ e}$$

$$v = 2\pi f_y ,$$

onde:

f_x = ciclos/unidade de comprimento na direção x da malha e

f_y = ciclos/unidade de comprimento na direção y da malha.

No sistema de coordenadas polares, a transformada de Fourier do campo magnético total, decorrente de um prisma, é representada do seguinte modo:

$$\Delta J_{(r, \theta)} = K(r) \cdot H(r) \cdot S(r, \theta, a, b) \cdot \sigma_T(\theta) \cdot \sigma(\theta) ,$$

onde:

$$r = (u^2 + v^2)^{1/2} \quad \text{é a amplitude do número de onda e}$$

$$\theta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{u}{v}\right) \quad \text{é a fase do espectro.}$$

As expressões acima deixam clara, devido à sua simplicidade, a razão pela qual o **Magmap** opera no domínio da frequência e não no domínio do espaço.

$\sigma_T(\theta)$ e $\sigma_r(\theta)$ são, respectivamente, as magnetizações induzida e remanente. Como no **Magmap** considera-se que o campo é expresso apenas pelo termo induzido, então:

$$\Delta J_{(r, \theta)} = K(r) \cdot H(r) \cdot S(r, \theta, a, b) \cdot [\sigma_T(\theta)^2] ,$$

onde a susceptibilidade magnética é dada por:

$$K(r) = 2\pi F_0 k(r);$$

$$F_0 = \text{campo geomagnético};$$

$$K(r) = \text{susceptibilidade/unidade de profundidade.}$$

A profundidade é indicada por:

$$H(r) = e^{-hr}(1 - e^{-tr}) ,$$

onde:

h = profundidade do plano de observação abaixo do topo dos prismas e

r = amplitude do espectro.

No **Magmap** assume-se que t é muito maior que h , de forma que:

$$H(r) = e^{-hr} .$$

O termo equivalente à forma geométrica, ou ao tamanho da fonte, é expresso por:

$$\alpha(r, \theta, a, b) = [(\text{sen}(ar \cos \theta) / ar \cos \theta)] \cdot [(\text{sen}(br \cos \theta) / br \cos \theta)] ,$$

onde a e b são as metades da largura do prisma nas direções x e y, respectivamente, dadas por:

$$\sigma_T^2(\theta) = [\text{sen } I - i \cos I \cdot \cos (D + \theta)]^2 ,$$

onde:

I = inclinação do campo geomagnético;

D = declinação do campo geomagnético.

Para separar feições particulares do mapa magnético, a malha de entrada dos dados (x,y) é convolvida com um operador ou filtro. No domínio do espaço (x,y), a operação de convolução assume a seguinte forma:

$$d(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta T(X - \alpha, Y - \beta) \cdot L(\alpha, \beta) d\alpha d\beta ,$$

onde:

d(x,y) = dados de saída, filtrados;

$\Delta T(X - \alpha, Y - \beta)$ = são os dados de entrada (campo magnético);

L(α, β) = filtro linear.

Transformando os dados do domínio do espaço (x, y) para o domínio da frequência (u, v), por meio da transformada bidimensional de Fourier, tem-se:

$$D(u,v) = \Delta J(u,v) \cdot \alpha(u,v) ,$$

onde:

D(u,v), $\Delta J(u,v)$ e $\alpha(u,v)$ são as transformadas de Fourier de $\alpha(x,y)$, $\Delta T(x,y)$ e L(x,y).

Uma vez obtido D(u, v), os dados filtrados da malha de saída são convertidos para o domínio do espaço, através da transformada inversa de Fourier:

$$d(x,y) = (1/2\pi)^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(u,v) e^{i(ux + vy)} du dv .$$

Desse modo, é obtida a malha de saída do **Magmap** para cada filtro selecionado, a qual é posteriormente contornada, gerando então os mapas temáticos finais, discutidos a seguir.

Assim, de acordo com a CPRM (1990), as operações básicas realizadas pelo **Magmap** são em número de cinco, quais sejam:

- pré-processamento;
- transformação Fourier dos dados do domínio do espaço para o domínio da frequência;
- determinação de espectros de potência;
- aplicação dos diversos filtros;
- transformação inversa de Fourier dos dados do domínio da frequência para o domínio do espaço;
- pós-processamento.

O pré-processamento consiste na remoção do *trend* dos dados do *grid*, limitando as amplitudes excessivas e expandindo a malha, a fim de evitar problemas de borda na transformação Fourier. A expansão é efetuada nas dimensões x e y que não possuam fatores primos acima de 3, quando então os dados são extrapolados, e os valores *dummies*, validados mediante interpolação; ambos utilizam o algoritmo de Burg (1975), de máxima entropia (CPRM 1990).

O pós-processamento compreende o recorte da malha ampliada para suas dimensões originais, invalidando os índices *dummies* anteriormente criados, ou seja, atribuindo um código de valor não-existente para os pontos da malha com dados validados na expansão do *grid*, no pós-processamento (CPRM 1990).

Apesar de ter utilizado praticamente todas as opções disponíveis no **Magmap** e devido ao número excessivo de mapas produzidos, foram selecionadas para apresentação apenas algumas opções que serão comentadas sucintamente a seguir. É importante assinalar que todos os procedimentos adotados partem do princípio de que os dados aeromagnéticos foram tomados em um plano, ou seja, a partir de uma altitude constante, enquanto os dados utilizados do aerolevantamento foram coletados acompanhando a topografia (altura média constante de 150m), o que implica erros. Métodos de transformação automática existem na literatura geofísica (Henderson e Cordell 1971; Pilkington e Urguhart 1990), todavia ainda não foram implantados no sistema de processamento de dados geofísicos do **Depex**, uma vez que os levantamentos aeromagnéticos sob a responsabilidade da **Petrobrás** são executados apenas em alturas barométricas constantes.

7.3.1 Análise Espectral

Esse foi o primeiro procedimento adotado na malha original de dados (veja item 7.2), com o objetivo evidente de apreciar o espectro. A análise espectral é freqüentemente empregada como procedimento básico para desenhar outros filtros, especialmente aqueles que tratam da separação regional-residual, ou ainda para calcular a profundidade ao topo de uma população estatística de fontes magnéticas (Spector e Grant 1970). Para tal, parte-se do princípio de que a distribuição das susceptibilidades magnéticas é alcatória.

O espectro de potência calculado tem a seguinte forma:

$$P(r) = \int_{\theta=0}^{\pi} |\Delta J(r, \theta)|^2 d\theta .$$

Já o espectro direcional é estimado através de mudanças nos limites da integral. Também é determinado pelos incrementos de r , que constituem o inverso da dimensão mínima expandida da malha, para frequências maiores que a de Nyquist da rede.

A fim de minimizar os ruídos inerentes ao cálculo do espectro de potência, um filtro *pré-whitening* pode ser calculado e aplicado, sobretudo se a malha for superior a 200x200 células, como no caso da malha adotada (206x397 células com tamanho de 500m).

O relatório de saída exibe, na primeira coluna, o número de onda (ciclos/metro); na segunda, o logaritmo natural da energia; na terceira e quarta colunas, as estimativas de profundidades das fontes com base em três ou cinco pontos do espectro; já na última, encontra-se o número de dados (u, v) que foram envolvidos para se calcular o espectro correspondente.

O espectro de potência resultante das fontes é uma linha reta, cuja inclinação (coeficiente angular) negativa seria proporcional à profundidade das fontes.

A Figura 61 é uma representação parcial e simplificada do espectro, na qual notam-se duas quebras acentuadas em torno das frequências 0,000046 e 0,000176 ciclo/m. Isto significa dizer que as profundidades médias das fontes profundas e intermediárias situam-se respectivamente cerca de 6,5 e 2,0km, enquanto as rasas indicam concentrações entre 300 e 900m. Considerando que a profundidade do embasamento, próximo da área estudada, acha-se em torno de 1,3km (Cordani *et al.* 1984), a frequência de corte selecionada para o planejamento dos filtros de separação regional-residual foi a de 0,000176 ciclo/m.

7.3.2 Separação Regional-Residual

7.3.2.1 Filtro Gaussiano

O filtro gaussiano é um operador de separação regional-residual, aplicado sobre os dados originais da malha. O resultado desse processo é uma distribuição gaussiana dos dados de saída.

No domínio da frequência, o operador regional apresenta a seguinte forma:

$$\Gamma_g(r) = \exp(-r^2 / 2a^2) ,$$

Figura 61 - ESPECTRO DE POTÊNCIA DOS DADOS AEROMAGNÉTICOS DA ÁREA ESTUDADA

onde:

r = magnitude do número de onda e

a = parâmetro que determina a largura da função (desvio padrão no domínio da frequência).

O operador gaussiano residual, por sua vez, é assim representado:

$$\Gamma g(r) = 1 - \exp(-r^2 / 2a^2)$$

No caso do Anexo X, representam-se apenas os resultados da aplicação do filtro gaussiano regional, com um desvio padrão de 0,000176ciclo/m, com o objetivo de visualizar as fontes profundas.

7.3.2.2 Filtro Passa-Baixa

A utilização do filtro passa-baixa representa as anomalias de grande comprimento de onda e visa a distribuição das fontes profundas.

O programa simplesmente aplica um filtro *cut-off* nos dados de entrada, no domínio da frequência; utilizou-se a frequência de corte de 0,000176ciclo/m, para que fosse produzido o mapa do Anexo XI.

Como era de se esperar, os produtos da aplicação dos filtros gaussiano e passa-baixa são bastantes semelhantes (compare anexos X e XI).

7.3.2.3 Filtro de Continuação para Cima

O filtro de continuação para cima gera uma malha de dados magnéticos em um *datum* situado a uma distância qualquer do plano de observação. É um método que, basicamente, reduz os efeitos de fontes rasas e ruídos oriundos de altas frequências e traduz as fontes profundas ou ainda informações mais regionais, embora não utilize o espectro de potência para definir os parâmetros do filtro.

No domínio da frequência, o operador tem a seguinte forma:

$$\Gamma u(r) = e^{-hr},$$

onde:

$\Gamma_u(r)$ = operador linear de continuação;

h = altura de continuação, em metros acima do plano de observação;

$r = (u^2 + v^2)^{1/2}$ = amplitude do número de onda.

No presente trabalho foram selecionadas as seguintes alturas acima do plano médio de observação (150m): 850, 1850 e 4850m, equivalentes a 1000, 2000 e 5000m acima da superfície média do terreno. A observação simultânea das três pranchas (anexos XII, XIII e XIV) revela que, além da atenuação do sinal com o incremento da altura, o padrão geral das estruturas é mantido, significando que as principais continuam em profundidade.

7.3.3 Filtro de Redução ao Pólo

O filtro de redução ao pólo transforma o campo magnético total da área de observação para a inclinação geomagnética de 90° e considera que todas as anomalias são causadas apenas por indução. Nesse sentido, o filtro restaura as anomalias magnéticas diretamente sobre os corpos causadores, removendo os efeitos da inclinação.

No domínio da frequência, o operador é representado da seguinte forma:

$$\Gamma_{rp}(\theta) = [\sin I - i \cos I \cdot \cos(D + \theta)]^{-2},$$

onde:

I = inclinação magnética da área estudada;

D = declinação da área estudada, relativa ao eixo x;

$\theta = \tan^{-1}(u/v)$ = fase do espectro.

Um corpo teórico situado no equador magnético constitui uma anomalia idêntica àquela que seria obtida no pólo magnético, apresentando-se, todavia, invertida (imagem de espelho) com relação à amplitude. No pólo essa anomalia corresponderá a um máximo e, no equador, a um mínimo sobre o topo do corpo, com as mesmas amplitudes relativas. A assimetria da anomalia reduzida ao pólo ou ao equador é, portanto, função apenas do mergulho do corpo (considera-se sempre a magnetização induzida).

Os filtros de redução ao pólo ou ao equador são complexos, uma vez que as componentes de fase e amplitude são independentes (separadas). A componente de amplitude é função da inclinação magnética, ou seja, à medida que a inclinação diminui, a amplitude de anomalias de corpos orientados segundo N-S também decresce e desaparece no equador magnético. Assim, a componente de amplitude do filtro de redução ao pólo, para anomalias de corpos N-S, é infinita no equador magnético.

Para amenizar esse problema, o **Magmap** limita a aplicação da componente de amplitude abaixo de uma determinada inclinação (20° *default*).

A redução ao pólo é essencialmente um filtro inverso, sendo altamente instável para inclinações próximas ao equador magnético. Essa instabilidade provoca uma amplificação das feições que possuem *strike* magnético N-S.

Tendo em vista que a área estudada situa-se em regiões de latitudes magnéticas relativamente baixas, foram efetuados diversos testes, variando o parâmetro da fase desde 30° até 80° , com intervalo de 10° . Através da análise visual das diversas opções, selecionou-se aquela com $\theta = 60^\circ$; o parâmetro θ controla a amplitude do filtro, ao mesmo tempo que preserva a fase nas baixas latitudes. No Anexo XV encontram-se os resultados obtidos.

7.3.4 Susceptibilidade Magnética Aparente

Tal programa gera um mapa de susceptibilidade aparente das rochas e assume, como para os demais operadores, que as fontes envolvem um grande número de prismas verticais homogêneos de base quadrada, coincidentes com os nós da malha.

As susceptibilidades magnéticas dos prismas são calculadas, considerando que a diferença entre a intensidade observada do campo e o valor geomagnético em cada ponto da malha é igual à soma das anomalias magnéticas induzidas naquele ponto, por todos os prismas. O método também supõe que todas as anomalias magnéticas são causadas por indução, e os corpos são verticais; parte ainda do princípio de que o *bedrock* é magneticamente homogêneo em todos os prismas. O termo aparente deve-se à imposição dessas limitações. Tal procedimento é aplicável apenas sobre dados magnéticos residuais (removidos do **IGRF**).

A transformada de Fourier de um prisma, como já referenciado, é função dos seguintes parâmetros:

- susceptibilidade magnética;
- profundidade ao topo;
- dimensão vertical da fonte;
- geometria ou tamanho da fonte;
- fator direcional (campo magnético e magnetização).

Para produzir o mapa de susceptibilidade aparente, aplicam-se os seguintes procedimentos:

- continuação para baixo até o topo rochoso;
- redução ao pólo e remoção do fator diferencial;
- remoção do fator geométrico;
- remoção do campo geomagnético total.

O operador linear resultante, no domínio da frequência, é expresso por:

$$\Gamma_{susc}(r, \theta) = [2 \pi \overline{r_0} \cdot e^{-hr} \cdot \frac{\sin(ar \cos \theta)}{ar \cos \theta} \cdot \frac{\sin(br \cos \theta)}{br \cos \theta} \cdot \sigma_T^2(\theta)]^{-1},$$

onde:

$$\sigma_T^2(\theta) = [\sin I - i \cos I \cdot \cos(D + \theta)]^2.$$

Neste trabalho, utilizou-se uma profundidade de 200m abaixo da altura média de vôo, que foi de 150m; ou seja, optou-se por uma profundidade média de 50m abaixo da superfície, a fim de calcular a susceptibilidade aparente.

O índice de 200m é empregado pelo operador de continuação para baixo. Para proceder à redução ao pólo, o ângulo de fase escolhido foi de 60°, uma vez que este já havia sido testado.

No processo de continuação para baixo, todas as partes da transformada são acompanhadas nesse sentido, amplificando, assim, os sinais. Quando a profundidade das fontes causadoras é variável, ou não é conhecida, esse processo resulta em muitos ruídos de alta frequência, os quais devem ser eliminados aplicando-se outros filtros.

No caso do mapa do Anexo XVI, os dados de saída foram suavizados através de um programa de média ponderada, disponível no sistema de processamento do Depex/Petrobrás.

7.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS AEROMAGNÉTICOS E GEOLÓGICOS

A integração dos dados aeromagnéticos e geológicos foi realizada através de domínios, os quais coincidem, em parte, com aqueles referidos no item 6.2. Essa mudança decorre do fato dos mapas aeromagnéticos ressaltarem as falhas com clareza, possibilitando, desse modo, que a compartimentação tectônica seja visualizada.

Assim, optou-se por elaborar um mapa de interpretação aeromagnética qualitativa, em escala 1:500.000, posteriormente reduzido e apresentado na Figura 62, que praticamente reunisse as principais informações dos diversos mapas filtrados bem como dos mapas geológicos.

7.4.1 Domínio Embu

O domínio Embu, localizado a sul da zona de falha de Taxaquara, caracteriza-se por exibir, sobretudo no mapa de contorno do campo aeromagnético (Anexo IX), faixas anômalas lineares dispostas segundo NE e refletindo claramente as falhas ou zonas de falhas aí existentes.

É interessante observar as nítidas relações entre o padrão aeromagnético e a proposta de disposição dos diversos corpos granitóides, de Janasi *et al.* (1990) acompanhando os falhamentos (Figura 58) na forma aparente de "camadas". Assim, são bem definidos, também nos mapas de redução ao pólo (Anexo XV) e de susceptibilidade aparente (Anexo XVI), os granitóides considerados por esses autores como dos tipos Itapevi e Piedade (blastomiloníticos e a duas micas). Estes apresentam, de acordo com o Anexo XVI e a Figura 62, susceptibilidade elevada, o que sugere a possibilidade de poderem ser reunidos em um grupo de granitóides a magnetita, segundo Ishihara (1981), mesmo que não se disponha de medidas de k em rochas e tão pouco da porcentagem em volume de magnetita. Para confirmar essa hipótese, seria necessário que fossem preenchidas todas as características indicadas em Ishihara (1981), através de estudos petrográficos e petroquímicos detalhados. É válido observar ainda que índices baixos de susceptibilidade parecem refletir as rochas encaixantes, pertencentes ao Complexo Embu.

Os demais mapas aeromagnéticos de separação regional-residual exprimem, em geral o padrão tectônico observado em superfície.

Os granitóides dos tipos Itapevi e Piedade foram considerados por Janasi *et al.* (1990) como *sin-orogênicos* (650Ma) e talvez do tipo I de Pitcher (1982).

FM-05	Sítios com medidas de susceptibilidade magnética.		Áreas de elevada susceptibilidade magnética aparente		Prováveis limites de corpos granitóides.
	Lineamento magnético / Falha		Faixa Alto Rio Grande		Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé
	Domínio São Roque (Apiaí)		Domínio Embu (Paraíba)		

Figura 62— MAPA DE INTERPRETAÇÃO AEROMAGNÉTICA QUALITATIVA

7.4.2 - Domínio São Roque

O domínio São Roque, disposto entre as zonas de falhas de Taxaquara e Jundiuvira, é caracterizado, normalmente, por anomalias positivas, representadas no Anexo IX. Talvez por ser constituído de cunhas supracrustais, com metassedimentos situados entre as fácies xisto-verde e anfibolito, o padrão de falhamentos da Figura 62 encontra-se mais associado aos limites tectônicos dos diversos corpos granitóides do domínio.

O mapa de redução ao pólo (Anexo XV) é o que melhor define os contornos dos diversos corpos granitóides como os de Itaqui, Cantareira, São Francisco, Mairiporã, Sorocaba, etc., também ressaltados no mapa de susceptibilidade aparente (Anexo XVI) e na Figura 62.

Observa-se, no mapa bem como na figura referidos acima, que os maiores valores coincidem com o segmento oriental do maciço de Sorocaba, o que corrobora a compartimentação verificada por Godoy (1989) e já constatada pela análise dos dados aerogamaespectrométricos. É possível que esse segmento, em comparação com índices semelhantes de k em corpos do domínio Embu, pertença a um grupo de granitóides a magnetita, de origem profunda (crosta inferior/manto superior). A parte ocidental, ao contrário mais rasa, pode ser produto de contaminação ou mistura de magmas envolvendo segmentos crustais mais superficiais.

É interessante observar, no Anexo XVI, que o maciço São Roque apresenta núcleos dispersos de elevada susceptibilidade, o que pode indicar variações de fácies, como já sugerido pela análise dos dados de espectrometria gama; entretanto, são necessários ainda mapeamentos faciológicos a fim de confirmar essa hipótese.

Em geral, as rochas encaixantes possuem índices de k menores que as granitóides, o que é esperado também das litologias predominantes nesse domínio.

7.4.3 Domínios Faixa Alto Rio Grande e Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé

Um mapa tectônico simplificado da porção sudoeste de Minas Gerais e leste de São Paulo é apresentado na Figura 63. Nele observam-se as áreas de exposição da Faixa Alto Rio Grande e da Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé, além de outros domínios que se encontram fora da área de interesse do presente estudo.

O mapa geológico do Anexo XVII bem como o de interpretação aeromagnética da Figura 62 mostram com clareza que os limites da Faixa Alto Rio Grande são perfeitamente coincidentes com os contornos de um domínio magnético, no qual predominam anomalias positivas, sobretudo nos mapas de separação regional-residual (anexos X a XIV).

Por outro lado, os terrenos pertencentes à Nappe de Empurrão são caracterizados, nesses mapas, principalmente, por anomalias negativas.

Figura 63 - MAPA TECTÔNICO SIMPLIFICADO DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS E LESTE DE SÃO PAULO
(modificado de Vasconcelos, 1986.)

As anomalias positivas mais intensas constituem um *trend* nordeste que tangencia a cidade de Socorro, compreendendo, talvez, o limite oriental dos terrenos autóctones. Outro limite característico é o forte truncamento aeromagnético que coincide com a zona de falha de Jacutinga, a norte. O limite oriental é definido por anomalias submeridianas, também coincidentes com falhamentos de empurrão. Já a assinatura aeromagnética do limite meridional é perturbada pela intrusão do maciço de Morungaba.

O mapa de susceptibilidade magnética aparente (Anexo XVI) exhibe índices baixos no domínio dos terrenos da Faixa Alto Rio Grande, dando a impressão de que os menores acompanham seus limites; os índices correspondentes aos terrenos da nappe, por outro lado, são mais elevados. Nesse domínio os maiores valores encontram-se associados a corpos granitóides como o de Bragança Paulista, ou a rochas de alto grau metamórfico como os charnoquitos. Os elevados índices de susceptibilidade magnética aparente dos granitóides de Bragança Paulista vem corroborar o seu enquadramento como do tipo a magnetita ou I.

Conforme já mencionado, a elaboração do mapa de susceptibilidade magnética aparente padece de uma série de limitações. Na tentativa de avaliar as informações geradas automaticamente, foi assinalada, na Figura 62, a localização de sítios, nos quais foram realizadas medidas de susceptibilidade magnética no Laboratório de Paleomagnetismo do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP), medidas estas indicadas na Tabela 12, extraída de Ferreira (1982). Na Tabela 13 encontram-se os dois conjuntos de dados, nos quais nota-se que não sucede uma correlação numérica perfeita entre os índices medidos de *k* e os respectivos intervalos calculados. Todavia percebe-se que existe uma certa relação qualitativa entre os dois grupos, sendo a mais nítida entre os sítios DB-84 e DB-72, onde ocorre acentuado contraste de susceptibilidade aparente, representado no mapa do Anexo XVI.

SÍTIO (LITOLOGIA)	AMOSTRA	SUSCET. ($\times 10^{-6}$ cgs)	MRN		INTENS. ($\times 10^{-6}$ cgs)
			INCL (°)	DECL. (°)	
(5) DB-84 (CHARNOCKITOS)	SO-12	7	-5.9	230.2	1.05
(5) DB-84 (CHARNOCKITOS)	SO-13	8 (7)	-17.3	289.7	0.38
(5) DB-84 (CHARNOCKITOS)	SO-14	6	36.1	21.8	0.25
(6) DB-72 (CHARNOCKITOS)	SO-15	2220	-59.2	349.6	11527.25
(6) DB-72 (CHARNOCKITOS)	SO-16	2543 (2145)	24.6	308.1	11164.46
(6) DB-72 (CHARNOCKITOS)	SO-17	1672	(BS)24.1	192.6	5602.86
			(BM)24.1	213.6	
(9) DB-108 (GRANULITO)	AP-23	4	-60.5	138.0	3.91
(9) DB-108 (GRANULITO)	AP-24	15 (12)	50.6	248.0	3.76
(9) DB-108 (GRANULITO)	AP-25	16	(BS)-56.6	175.8	136.06
			(BM)-56.6	163.7	
(10) DB-110 (GRANITO-GNAISSE)	AP-26	228	-24.3	316.4	27.13
(10) DB-110 (GRANITO-GNAISSE)	AP-27	749 (459)	-67.8	68.0	50.91
(10) DB-110 (GRANITO-GNAISSE)	AP-28	401	-80.6	24.5	33.88
(13) LC-421 (GRANITO-GNAISSE)	AG-35	175	-42.7	36.4	23.01
(10) DB-110 (GRANITO-GNAISSE)	AG-36	1155(838)	-37.4	37.7	242.41
(10) DB-110 (GRANITO-GNAISSE)	AG-37	1185	-18.9	72.0	164.21

Tabela 12 - Propriedades Magnéticas de Rochas do Embasamento Cristalino
(modificado de Ferreira 1982) (veja localização dos sítios na Figura 61).

BS - Bússola Solar
BM - Bússola Magnética

SÍTIO (LITOLOGIA)	AMOSTRA	SUSCET. ($\times 10^{-6}$ cgs)	MRN		INTENS. ($\times 10^{-6}$ cgs)
			INCL (°)	DECL. (°)	
(29)LC-108 (BIOTITA-GNAISSE)	SB-84	332	-25.5	68.02	261.32
(29)LC-108 (BIOTITA-GNAISSE)	SB-85	38 (349)	-21.1	54.1	60.17
(29)LC-108 (BIOTITA-GNAISSE)	SB-86	676	-34.3	36.2	520.88
(33)FM-02 (GRANULITO)	AL-96	697	-27.7	10.0	195.41
(33)FM-02 (GRANULITO)	AL-97	584 (736)	-12.1	35.3	28.05
(33)FM-02 (GRANULITO)	AL-98	928	-55.1	22.1	19.07
(34)FM-038 (GRANITO-GNAISSICO)	SO-99	523	-27.0	16.0	91.58
(34)FM-038 (GRANITO-GNAISSICO)	SO-100	440 (418)	-42.7	338.0	43.61
(34)FM-038 (GRANITO-GNAISSICO)	SO-101	291	-46.0	317.4	23.03
(35)FM-04 (GRANITO)	VA-102	531	-23.1	342.5	57.25
(35)FM-04 (GRANITO)	VA-103	778 (618)	-33.1	1.9	206.05
(35)FM-04 (GRANITO)	VA-104	546	-26.7	15.6	74.34
(37)LC-327 (GRANULITO)	VA-108	675	-4.0	1.4	3626.85
(37)LC-327 (GRANULITO)	VA-109	702 (707)	-6.0	83.8	11719.66
(37)LC-327 (GRANULITO)	VA-110	744	-10.3	111.1	9792.97
(38)FM-05 (GRANITO)	BP-111	1447	7.1	320.4	345.64
(38)FM-05 (GRANITO)	BP-112	2145 (1658)	-8.4	340.2	328.87
(38)FM-05 (GRANITO)	BP-113	1381	-6.8	347.2	148.47

Tabela 12 - Propriedades Magnéticas de Rochas do Embasamento Cristalino - continuação
(modificado Ferreira 1982) (veja localização dos sítios na Figura 61).

SÍTIO (LITOLOGIA)	AMOSTRA	SUSCET. ($\times 10^{-6}$ cgs)	MRN		INTENS. ($\times 10^{-6}$ cgs)
			INCL (°)	DECL (°)	
(39) LC-80 (GRANITO)	CM-114	1565	-39.0	87.9	2744.57
(39) LC-80 (GRANITO)	CM-115	1546 (1659)	-73.4	40.8	2024.31
(39) LC-80 (GRANITO)	CM-116	1866	40.9	336.8	525.66
(40) FM-06 (GRANITO)	VA-117	722	17.2	20.0	540.33
(40) FM-06 (GRANITO)	VA-118	405 (477)	23.0	26.1	262.29
(40) FM-06 (GRANITO)	VA-119	303	-4.1	18.8	110.95

Tabela 12 - Propriedades Magnéticas de Rochas do Embasamento Cristalino - Continuação
(modificado Ferreira 1982) (veja localização dos sítios na Figura 61).

SÍTIOS	(e.m.u) $\times 10^{-3}$	(e.m.u) $\times 10^{-3}$
DB-84	0,007	0,0-0,3
DB-72	2,145	1,9-2,3
DB-108	0,012	0,7-1,1
DB-110	0,459	1,1-1,5
LC-421	0,838	1,5-1,9
LC-108	0,349	1,1-1,5
FM-02	0,736	1,5-1,9
FM-03	0,418	1,1-1,5
FM-04	0,618	1,5-1,9
LC-327	0,707	1,5-1,9
FM-04	1,658	1,5-2,3
LC-80	1,659	1,5-2,3
FM-06	0,477	1,1-1,5
	(1)	(2)

Tabela 13 - Comparação entre as medidas de susceptibilidade magnética em rochas (coluna 1) e as susceptibilidades aparentes calculadas a partir de dados aeromagnéticos residuais (coluna 2) (veja localização dos sítios, Figura 62).

Para melhor ilustrar essa correlação, foram representadas na Figura 62 as áreas com elevada susceptibilidade magnética aparente, onde observa-se que os sítios com maiores índices de k medidos no laboratório acham-se inseridos (sítios DB-72; FM-05; LC-80).

7.4.4 Domínio Bacia do Paraná

O domínio Bacia do Paraná é caracterizado, do ponto de vista aeromagnético, pela presença de um grande número de anomalias com pequenos comprimentos de onda e grandes amplitudes (alta frequência), reflexo das rochas básicas da Formação Serra Geral.

A interpretação da análise espectral revelou que as fontes rasas distribuem-se desde a superfície até profundidades máximas da ordem de 1,7km, com as maiores concentrações entre 300 e 900m. A profundidade do embasamento alcançada pelos poços 1-AS-1-SP e 1-PGI-SP foi de 1334 e 1229m, respectivamente; esses poços situam-se a oeste da área estudada e são balizados pela continuidade da zona de falha de Jacutinga em direção à bacia, segundo Cordani *et al.* (1984). Dessa forma, considerando a frequência de corte utilizada (Figura 60), conclui-se que os mapas de contorno das fontes profundas muito provavelmente refletem o embasamento da Bacia do Paraná na área estudada.

O mapa de interpretação aeromagnética da Figura 62, no domínio da Bacia do Paraná, foi baseado essencialmente nos mapas filtrados dos anexos X, XI, XII e XIII. Partindo da parametrização aeromagnética dos terrenos aflorantes na Faixa Alto Rio Grande e na Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé, a Figura 62 é uma tentativa de interpretação da continuidade desses terrenos sob a bacia. É nítido, nos mapas filtrados, a forma de cunha erosiva assumida pelos limites entre os terrenos de elevada e baixa susceptibilidade, o que parece ser característica comum quando se observam mapas geológicos regionais, como o da Figura 63.

Outra feição interessante observada em todos os mapas aeromagnéticos é a coincidência entre a borda erosiva da Bacia e as falhas que a acompanham, como a de Campinas (Cavalcante *et al.* 1979) e as demais indicadas nos mapas geológico (Anexo XVII) e de interpretação qualitativa (Figura 62).

Finalmente, são assinaladas algumas áreas no mapa de interpretação aeromagnética, no domínio da Nappe, com elevados valores de susceptibilidade, como aquela em torno de Indaiatuba a qual, mesmo sendo praticamente encoberta por sedimentos, é bem controlada pelos índices de k do sítio LC-80 (Figura 62 e Tabela 13). Desse modo, é possível que essa área constitua um maciço granitóide a magnetita, semelhante àqueles maciços de Bragança Paulista.

É interessante notar que o provável maciço de Indaiatuba e o maciço de Itu (Figura 62 e Anexo XVII) exibem contornos alongados segundo NE, sugerindo que os mesmos tenham sido controlados pela borda tectônica da Bacia do Paraná, representada pela falha de Campinas, assim como, aparentemente, outros pertencentes ao cinturão de Itu na área estudada.

8 INTEGRAÇÃO GERAL DOS DADOS GEOFÍSICOS E GEOLÓGICOS:

PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- A comparação numérica entre os dados espectrométricos terrestres e aéreos da Suíte Intrusiva de Itu revelou-se insatisfatória, uma vez que não foi planejada para esse fim. A razão básica do insucesso foi resultante do fato de que as medidas terrestres são pontuais, enquanto as aéreas representam a média dos pontos atingidos pelos sensores. Para se obter uma correlação satisfatória, seria necessário que os dados superficiais representassem uma integração em área circular equivalente àquela atingida pelos sensores aéreos e que a mesma se deslocasse sucessivamente em relação à linha de voo. Talvez uma tentativa de integração espacial, utilizando os mesmos dados, tivesse alcançado melhores resultados.
- Entretanto, considerou-se satisfatória a resolução dos dados aerogamaespectrométricos, respaldada na densidade de informação, em comparação à terrestre, no tocante tanto à perfeita definição dos contornos da Suíte quanto à discriminação dos diversos corpos, através do rastreamento das contagens de K, U e Th.
- O confronto, mesmo simplificado, entre os dados aerogamaespectrométricos e geológicos dos maciços Sorocaba, São Francisco e Morungaba, mostrou que é possível discriminar, dentro de cada corpo, segmentos distintos ou unidades de mapeamento em níveis de semidetalhe. Os exemplos mais notáveis foram as diferenças entre os maciços Sorocaba e São Francisco, esse último com elevados índices de U e Th além de mineralizações associadas, e a coincidência entre um padrão de zonalidade concêntrica das fácies, sobretudo do plúton meridional do maciço de Morungaba bem como um aumento dos níveis de radiação de K, U e Th, a partir das bordas para o centro.
- No domínio Embu, registrou-se uma boa compatibilidade entre os corpos granitóides dos tipos Itapevi e Piedade, especialmente aqueles que acompanham as zonas de falha de Taxaquara e Caucaia, e os elevados índices de U e Th. A correlação com dados geológicos e petrográficos sugeriu a possibilidade desses corpos serem reunidos em um grupo de granitóides do tipo I. O fato deles possuírem susceptibilidade aparente elevada, sobretudo aqueles a nordeste de Ibiúna e Piedade, sugeriu a sua inclusão no grupo de granitóides a magnetita. O padrão aeromagnético residual indicou, de forma clara, a disposição espacial dos corpos granitóides.

- No domínio São Roque, o principal traço aerogamaespectrométrico acha-se relacionado com os maciços São Roque e Tico-Tico, em virtude destes apresentarem elevados índices para o U e baixos para o Th. Em consequência, exibem expressivos valores da razão U/Th assim como do parâmetro F. Esses dados confirmaram que o maciço Tico-Tico pode ser classificado como do tipo S ou a ilmenita. Embora admita-se uma significativa contribuição crustal, a ausência de estudos geofísicos, geológicos, petrográficos e de mapeamentos faciológicos por ora não permite o perfeito enquadramento do maciço São Roque. O enriquecimento do U em relação ao Th encontra apoio também em dados gamaespectrométricos terrestres preliminares. Por outro lado, dentre os diversos mapas aeromagnéticos filtrados, o de redução ao pólo foi o que melhor representou os contornos dos vários maciços granitóides. A detecção da zona de susceptibilidade magnética aparente elevada no segmento oriental do maciço Sorocaba, além de corroborar a compartimentação geológica, sugeriu que essa porção pode ser considerada como pertencente ao grupo de granitóides a magnetita, de origem profunda. Em contraposição, a parte ocidental, mais rasa, talvez seja produto de contaminação de magmas oriundos de segmentos crustais mais superficiais, de acordo com idéias correntes.
- Nos domínios Jundiá e Amparo atestou-se mais uma vez a resolução do método aerogamaespectrométrico, através da perfeita definição de corpos granitóides com até 2,5km de diâmetro, como os de Itatiba e outros dois a sul de Bragança Paulista; os três são anômalos em relação ao K. Quanto ao U, apenas o de Itatiba apresenta valores elevados, enquanto os outros dois exibem índices abaixo da média. No tocante ao Th, ao contrário, somente aqueles corpos a sul de Bragança Paulista revelam contagens anômalas. Isso significa, em primeiro lugar, que o corpo de Itatiba é distinto dos demais, e estes são semelhantes entre si. Mais ainda, os dados mostram que a razão U/Th é elevada para Itatiba, o que pode indicar uma origem crustal. Os outros dois, a sul de Bragança Paulista, podem ser considerados como do tipo I, devido às suas baixas razões U/Th. Por outro lado, o mapa de contorno do Th define claramente as áreas de ocorrência dos granitóides entre Socorro e Bragança Paulista, os quais, por sua vez, delineiam áreas equivalentes, com elevados valores de susceptibilidade magnética aparente, e por essa razão podem ser reunidos em grupo de granitóides a magnetita ou I. Por fim, não foram verificadas diferenças gamaespectrométricas entre as suítes Salmão e Catapora; além disso, observou-se que as características geofísicas dos maciços Cachoeira e Terra Nova são distintas daqueles granitóides pertencentes ao cinturão de Itu.
- No domínio Guaxupé, coincidente com a exposição de terrenos pertencentes à Faixa Alto Rio Grande, a característica espectrométrica principal é a existência de um cinturão com elevados valores de K e baixos de U e Th, coincidentes com a Suíte Serra Negra. As unidades limítrofes (grupos Andrelândia e Itapira) são caracterizadas por baixos índices dos radioelementos. Os dados aeromagnéticos definem muito bem esse compartimento, no qual os índices de susceptibilidade aparente são baixos. No batólito Pinhal, as relações entre os níveis de radiação e as fácies não são nítidas; predominam índices elevados de K e Th. Contudo, constatou-se uma relação entre a exposição do batólito Pinhal/Ipuíuna e uma faixa anômala de U, posicionada segundo E-W.
- No domínio Bacia do Paraná, por fim, o que chamou mais a atenção foram anomalias de U a leste de Leme e a norte de Limeira, aparentemente associadas, de acordo com

o mapa geológico, a soleiras da Formação Serra Geral. Como os teores de U e Th são baixos em rochas básicas, é possível que as referidas anomalias constituam uma formação superficial ou crosta-ferruginosa enriquecida em U, a qual se concentrou nesse local devido à sua mobilidade; essa área anômala talvez seja proveniente do U de rochas graníticas ou folhelhos da Bacia do Paraná (Formação Irati?). De qualquer modo são necessárias verificações de campo.

- Do ponto de vista aeromagnético, com respeito aos domínios Faixa Alto Rio Grande e Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé, os mapas filtrados foram de grande valia, visto que, a partir da parametrização desses terrenos no embasamento exposto, foi possível inferir o arcabouço tectônico do embasamento oculto sob sedimentos e lavas da Bacia do Paraná. O procedimento automático de geração de susceptibilidades magnéticas aparentes, a partir de dados aeromagnéticos residuais, foi considerado satisfatório, balizado que foi por medidas de k em amostras de mão. Outro aspecto importante foi o reconhecimento de uma borda tectônica na Bacia do Paraná, localizada na área estudada, onde se encontra a maioria dos corpos granitóides pós-tectônicos relacionados com o cinturão de Itu. É possível, assim, que essa zona de falha condicionadora dos maciços granitóides, uma vez reativada, possa ter influenciado a sedimentação da Bacia do Paraná. Para confirmar tal hipótese, é preciso investigar as respostas dessa suposta ocorrência presente nos pacotes sedimentares relacionados com as fases de maior atividade tectônica da bacia.
- Finalmente, a aerogeofísica revelou-se eficaz na caracterização de vários maciços granitóides, distribuídos em ampla área bem como no esboço da compartimentação tectônica do embasamento. Também os métodos utilizados, apesar de suas características de reconhecimento (1:500.000) mostraram um poder de resolução em níveis de semidetalhe (1:50.000), permitindo, desse modo, a discriminação de tratos interiores em cada maciço assim como conseqüentes relações com as fácies granitóides, em termos da distribuição de K, U, Th e k (susceptibilidade magnética). Os resultados dos levantamentos aerogeofísicos podem ser aperfeiçoados através de estudos das mineralogias radioativa e magnética, contribuindo, assim, para a classificação dos granitóides e para o estudo de suas potencialidades metalogenéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.A.S. & GASPARINI, P. 1970. Gamma-ray Spectrometry of Rocks. *Methods in Geochemistry and Geophysics*, 10. Elsevier Publishing Company 295 p.
- ANJOS, I.L.S. & MOURÃO, L.M.F. 1988. Projeto São Paulo - Rio de Janeiro, Relatório Final, Processamento de Dados, Parte I - São Paulo. Texto, v. 2. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - (CPRM)*, 29p. (inédito).
- ARTUR, A.C. 1988. Evolução policíclica da infra-estrutura da porção sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, 231p. (inédito).
- BECK, H. 1972. The physics environmental gamma radiation fields. *Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment*, Houston, Texas. J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell (eds.).
- BECK, H.; DeCAMPO, J.; GOGOLAK, C. 1972. In situ Ge(Li) and NaI(Tl) gamma-ray spectrometry; Rept. HASL-258. *U.S. Atomic Energy Comm.*
- BHATTACHARYA, B.K. 1966. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. *Geophysics*, 31 : 97-121.
- BRISTOW, Q. 1979. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration: airborne instrumentation; p. 135-146. In: *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*. Edited by P.J. Hood; Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, 811 p.
- BURG, J. P. 1975. Maximum entropy special analysis. Unpublished doctoral dissertation. Stanford University, 168 p.
- BURSON, Z.G. 1973. Airborne surveys of terrestrial gamma radiation in environmental research. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. v. NS-21 (1).
- CAMPOS NETO, M.C. & VASCONCELLOS, A.C.B.C. 1986. Geologia da Faixa Alto Rio Grande. Relatório FAPESP 127p. (inédito).
- CARNEIRO, C.D.R. 1983. Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, 155p. (inédito).
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.S.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; RAMALHO, R. 1979. Projeto Sapucaí. Relatório Final, MME/DNPM, Ser. Geol. 4, Seção Geol. Bras.. 2, 299p.

- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8:173-174.
- CPRM 1990. Geofísica em Levantamentos Geológicos. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)*. Divisão de Geofísica e Sensores Remotos. Rio de Janeiro, RJ. (inédito).
- CPRM 1991. Projeto Rio Alegre, Folha Pontes e Lacerda, SD-21-Y-C-II (1:100.000), Mato Grosso. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB)*. São Paulo, SP. Convênio DNPM-CPRM (inédito).
- COOLEY, J. W. & TURKEY, J. W. 1965. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Math. of Comput.* v.19, p. 297-301.
- CORDANI, U.G.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F.M.B. 1984. *Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, CENPES, SINTEP, 1984. Ciência-Técnica-Petróleo, Seção: Exploração de Petróleo, 15. 70p.
- COUTINHO, J.M.V. 1953. Petrologia da região de São Roque. *Bol. F.F.C.L., USP, Mineralogia*, 11:1-86.
- DARNLEY, A.G.; BRISTOW, Q.; DONHOFFER, D.K. 1968. Airborne gamma-ray spectrometer experiments over the Canadian Shield. In: *Nuclear Techniques and Mineral Resources*. (International Atomic Agency, Vienna), p. 163-186.
- DARNLEY, A.G. & FLEET, M. 1968. Evaluation of airborne gamma-ray spectrometry in the Bancroft and Elliot Lake areas of Ontario, Canadá; *Proc. 5th Symposium on Remote Sensing of Environment*. University of Michigan, Ann. Arbor, p. 833-853.
- DARNLEY, A.G. & GRASTY, R.L. 1970. Mapping from the air by gamma-ray spectrometry. *Proc. Third International Geochemical Symposium*, Toronto. *Can. Inst. Min. Met. Spec.* v. 11, p. 485-500.
- DARNLEY, A.G. 1971. Airborne gamma-ray survey techniques. *NATO Adv. Stud. Inst. Meth. Prospec. Uran. Min.*, London, 51p.
- DARNLEY, A.G. 1972. Airborne gamma-ray survey techniques: In: *Uranium Prospecting Handbook* (S.H.U. Bowie et al., ed.) *Inst. Min. Met. Condom.* p. 174-211.
- DARNLEY, A.G. 1973. Airborne gamma-ray techniques - present and future. *Uranium Exploration Methods*. Proc. Series, IAEA, Vienna, p. 67-108.
- DARNLEY, A.G. 1982. "Hot" granites: some general remarks. In: *Uranium in granites*, Y.T.Maurice, (ed.). *Geol. Surv. Can. Paper*. 81(23):1-18.

- DARNLEY, A.G. & FORD, K.L. 1989. Regional airborne gamma-ray surveys: a review. p.229-240. In: *Proceedings of Exploration 87*. Edited by G.D.Garland, Ontario Geological Survey, Special Volume 3, Ministry of Northern Developmentes and Mines, 914p.
- EVE, A.S. 1911. On the ionization of the atmosphere due to radioactive matter: *Phil. Mag.* v.21, p.26.
- FAURE, G.1986. Principles of Isotope Geology. Second Edition. John Wiley & Sons, 589p.
- FERRERIA, C. & WERNICK,E. 1989. Granito Itaqui, (SP): caracterização das fácies e relações temporais. In: *Simp. Geol. Sudeste*, 1, Rio de Janeiro, RJ, 1989. *Bol. Resumos*, p. 171-172.
- FERREIRA, F.J.F. 1982. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP). São Paulo, SP, 169p. (inédito).
- FERREIRA, F.J.F. 1987a. Síntese da evolução tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. Tema Específico 1. Exame de Qualificação, Nível de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, p. 107-138 (inédito).
- FERREIRA, F.J.F. 1987b. Arcabouço tectônico do Pré-Cambriano do Estado de São Paulo e regiões adjacentes. Tema Específico 2. Exame de Qualificação, Nível de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, p. 140-187 (inédito).
- FRANKE, R. 1982. Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics of Computation*, 38 (157): 181-200.
- FOOTE, R.S. 1968. Improvement in airborne gamma radiation data analysis for anomalous radiation by removal of environment and pedologic radiation changes; In: *Symposium on the use of nuclear techniques in the prospecting and development of mineral resources. International Atomic Energy Meeting*, Buenos Aires, Argentina.
- FOOTE, R.S. & HUMPHREY,N.B. 1976. Airborne radiometric techniques and applications to uranium exploration. In: *Exploration for Uranium Ore Deposits, Proc. Series*, IAEA, Vienna. p. 107-125.
- GRASTY, R.L. & DARNLEY,A.G. 1971. The calibration of gamma-ray spectrometers for ground and airborne use; *Geol. Surv. Can. Paper 74-1B*, p. 72-74.
- GRASTY, R.L. & HOLMAN,P.B. 1974. Optimum detector sizes for airborne gamma-ray surveys; In: *Report of Activities, Part B, Geol. Surv. Can. Paper 74-1B*, p. 72-74.
- GRASTY, R.L. 1976a. The circle of investigation of airborne gamma-ray spectrometers. In: *Report of activities, Part B, Geol. Surv. Can. Paper 76-1B*, p. 77-79.

- GRASTY, R.L. 1976b. A calibration procedure for an airborne gamma-ray spectrometer; *Geol. Surv. Can. Paper* 76-16, p. 1-9.
- GRASTY, R.L. 1979. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration - theory and operational procedures: p. 147-162. In: *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*. Edited by P.J.Hood; Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31, 811 p.
- GNOJEK, I. & PRICHYSTAL, 1985. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration*, v.23, p. 491-502.
- GODOY, A.M. 1989. Caracterização faciológica, petrográfica e geoquímica dos maciços Sorocaba e São Francisco, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, 220p. (inédito).
- GOLD, S.; BARKHAM, H.W.; SHLIEN, B.; KAHN, B. 1964. Measurement of naturally occurring radionuclides in air. *The Natural Radiation Environment*. Univ. Chicago Press. p. 369-82.
- HARBAUGH, J.W.; DOVETON, J.H.; DAVIS, J.C. 1977. Probability methods in oil exploration. New York, John Wiley, 269 p.
- HEIER, K.S. & ROGERS, J.J.W. 1963. Radiometric determinations of thorium, uranium and potassium in basalts and in two magmatic differentiation series. *Geoch. Cosmoch. Acta.*, 27: (2):137-154.
- HEIR, K.S. 1969. Potassium. In: *Handbook of Geochemistry*. H. K. Wedepohl (ed.). Berlin, Springer-Verlag, 2(2):19.
- HENDERSON, R. G. & CORDELL, L. 1971. Reduction of unevenly spaced potential field data to a horizontal plane by means of finite harmonic series. *Geophysics*, 36(5): 856-866.
- HESS, V.F. 1911. Über die absorption dery - strahlen in der atmosphäre. *Phys. Zeit.*, v.12, p. 998-1001.
- HESS, V.F. 1912. Über beobachtungen der durchdringenden strahlung beiseiben freiballonfahrten; *Phys. Zeit.*, v.13, p. 1084-091.
- HOWARTH, R. J. 1983. Mapping. In: R. J. Howarth (ed.). *Statistics and data analysis in geochemical prospecting*. Amsterdam, Elsevier, 437 p.
- HUBBELL, J.H. & BERGER, M.J. 1968. Attenuation coefficients, energy absorption coefficients and related quantities. *Engineering Compendium on Radiation Shielding*, v. 1, Springer Verlag, Berlin.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A
IPT 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, IPT, Monografias, 6.

- ISHIHARA, S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*. v.27, p. 293-305.
- ISHIHARA, S. 1981. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.* 75th Anniv vol., p. 458-484.
- JANASI, V.A. & ULBRICH, H.H.G.J. 1985. Avaliação das informações disponíveis para granitóides do Estado de São Paulo. In: *Simp. Reg. Geol.*, 5, São Paulo, SP, 1985. *Atas...* São Paulo, SP, SBG, Núcleo São Paulo, 1:133-146.
- JANASI, V.A.; VASCONCELLOS, A.C.B.C.; VLACH, S.R.F.; MOTIDOME, M.J. 1990. Granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Piedade, SP: faciologia e contexto tectônico. In: *Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal, RN, SBG, 4:1925-1935
- KILLEEN, P.G. 1979. Gamma-ray spectrometric methods in uranium exploration - application and interpretation; p.163-230. In: *Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores*. Edited by P.J.Hood; Geological Survey of Canada, Economic Geology Report 31,811p.
- KIRKEGAARD, P. & LOVBORG, L. 1974. Computer modelling of terrestrial gamma-radiation fields; *Riso Report* nº303.
- KING, L.V. 1912. Absorption problems in radioactivity; *Phil. Mag.*, v.23, p. 242.
- KNECHT, T. 1949. Ocorrência de minerais metálicos na Serra de São Francisco. *Mineração e Metalurgia*. Rio de Janeiro, 14(80):34-40.
- KOGAN, R.M.; NAZAROV, I.M.; FRIDMAN, Sh.D. 1971. Gamma spectrometry of natural environments and formations - theory of the method, applications to geology and geophysics. *Israel Program for Scientific Translation*, 5778. Jerusalem, Israel.
- LOVBORG, L. & KIRKEGAARD, P. 1971. Response of 3" x 3" NaI(Tl) detectors to terrestrial gamma radiation. *Nuclear Instruments and Methods* 121, p. 239-251, North-Holland Publishing Co.
- LOVBORG, L.; KIRKEGAARD, P.; MOSE CHRISTIANSEN, E. 1976. The desing of NaI(Tl) scintilation detectors for use in gamma-ray surveys of geological sources. *IAEA Symposium on Exploration of Uranium Ore Deposits*, Vienna.
- MAGMAP. 1986. General purpose two-dimensional filtering system (version 1.3). Paterson, Grant & Watson Limited, Toronto, Canada (não-paginado).
- MARES, S. 1984. Introduction to Applied Geophysics D. Reidel Publishing Company. 574 p.

- MAURICE, Y.T. & CHARBONNEAU, B.W. 1987. U and Th concentration processes in Canadian granitoids, their detection by airborne gamma-ray spectrometry and their relationship to granophile mineralization. *International Symposium on Granites and Associated Mineralizations: (ISGAM)*. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(4): 644-646.
- PASCHOLATI, E.M.; VLACH, S.R.F.; AMARAL, G. 1987. Contribuição ao conhecimento geológico da Suíte Intrusiva de Itu. In: *Simp. Reg. Geol.*, 6, Rio Claro, São Paulo, 1987. *Atas...* Rio Claro, SP, SBG, Núcleo São Paulo, 1:47-63.
- PASCHOLATI, E.M. 1990. Caracterização geofísica da Suíte Intrusiva de Itu. Tese de Doutorado. Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP), São Paulo, SP, 135 p. (inédito).
- PASCHOLATI, E.M.; AMARAL, G.; VLACH, S.R.F.; FUJIMORE, K. 1990. Suíte Intrusiva de Itu: aspectos geológicos e geofísicos. In: *Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal, RN, SBG, 4:1936-1941.
- PETTINATI, F. 1983. Modelamento digital e representação gráfica de superfícies. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, SP, 177 p. (inédito).
- PILKINGTON, M. & URGUHART, W. E. S. 1990. Reduction of potencial field data to a horizontal plane. *Geophysics*, 34(5):549-555.
- PITCHER, W.S. 1982. Granite type and tectonic environment. In: HSU.K. (ed.). *Mountain building processes*. Academic Press, London. p. 19-40.
- POTTS, M. J. 1976. Computer methods for geologic analysis of radiometric data: In: *Exploration for Uranium Ore Deposits*, Proc. Series, IAEA, Vienna, p. 55-69.
- PUPIN, J.P.G. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.* 73:207-220.
- ROGERS, J.J.W. & ADAMS, J.A.S. 1963. Lognormality of thorium concentrations in the Conway Granite. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 27:775-83.
- ROGERS, J.J.W. & ADAMS, J.A.S. 1969a. Thorium. In: *Handbook of Geochemistry*. H. K. Wedepohl (ed.). Berlim, Springer-Verlag 2(5):90.
- ROGERS, J.J.W. & ADAMS, J.A.S. 1969b. Uranium In: *Handbook of Geochemistry*. H. K. Wedepohl (ed.). Berlim, Springer-Verlag 2(5):92.
- SAUDERS, D.F. & POTTS, M.J. 1976. Interpretation and application of high-sensitivity airborne gamma-ray spectrometer data. In: *Exploration for Uranium Ore Deposits*, Proc. Series, IAEA, Vienna. p. 107-25.
- SHEPARD, D. 1968. A two dimensional interpolation function from irregularly spaced data. In: *American Association form Computing Machinery National Conference*, 23, 1968. *Proceedings...* p. 517-524.

- SMITH, A.R. & WOLLENBERG, H.A. 1972. High-resolution gamma-ray spectrometry for laboratory analysis of the uranium and thorium decay series; *Proc. 2nd Int. Symp. on the Natural Radiation Environment*, Houston, Texas. J.A.S. Adams, W.N. Lowder and T.F. Gessell (eds.). *U.S. Dept. of Commerce*, Springfield, Virginia, p. 181-231.
- SPECTOR, A. & GRANT, F.S. 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*. 35: 293-302.
- SOLOVOV, A. P. 1985. Geochemical Prospecting. *MIR Pub.*, Moscou, 287 p.
- VASCONCELLOS, A. C. B. C. 1988. O Grupo Andrelândia na região a norte de Ouro Fino, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, 199 p. (inédito).
- VASCONCELLOS, A. C. B. C. & JANASI, V.A. 1989. Mapeamento faciológico do batólito granitóide cálcio-alcalino de Pinhal-Ipuiúna (MG). *In: Simp. Geol. 5*, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1989. *Atas...* Belo Horizonte, Mg. SBG, Núcleos Minas Gerais e Brasília, p 65-69.
- VLACH, S. R. F. 1985. Geologia, petrografia e geocronologia das regiões meridional e oriental do Complexo Morungaba(SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP, 253 p. (inédito).
- VLACH, S. R. F.; JANASI, V. A.; VASCONCELLOS, A. C. B. C. 1990. The Itu belt: associated calc-alkaline and aluminous A-type late brasiliano granitoids in the states of São Paulo and Paraná, Southern Brazil. *In: Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal, RN, SBG, 4:1700-1711.
- WARD, D.L. 1978. Construction of calibration facility Walker Field, Grand Junction, Colorado; *ERDA Open File GJBX-37(78)*.
- WERNICK, E. & GALEMBECK, T.M.B. 1986. Caracterização do plutonismo granitóide do Ciclo Brasileiro no Estado de São Paulo através do método da tipologia do zircão. *In: Congr. Bras. Geol.*, 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, GO, SBG, 3:1369-1382.
- WERNICK, E. 1990. Zoneamento magmático regional de granitóides brasileiros no sudeste/sul do Brasil: implicações geotectônicas. *In: Congr. Bras. Geol.*, 36, Natal, 1990. *Anais...* Natal, RN, SBG, 4:1668-1683.
- WERNICK, E. & NARDY, A.J.R; ARTUR, A.C.; GALEMBECK, T.M.B; DIEFENBACH, K.W. 1990. Caracterização de feições genéticas e evolutivas em séries granitóides na dependência de sua tipologia de zircão. *In. Congr. Bras. Geol.*, Natal, 1990. *Anais...* Natal, RN, SBG, 4:1779-1792.
- WULF, V.T. 1910. Beobachtungen uber die Strahlung hoher durchdringungsfahigkeit auf dem Eiffelturm; *Phys. Zeit*, v.11. p. 810.

YAMAMOTO, J. K. 1986. Representações gráficas espaciais em geologia - aplicações no complexo alcalino de Anitápolis. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), São Paulo, SP. 167 p. (inédito).

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. P.; MARQUES, A; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. I.; ZANOTTO, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Gabaglia, G.P.R. & Milani, E. J. (eds.), PETROBRÁS, p. 135-168.

ØBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO I)

$$\bar{X} = 74.3 \text{ CPS} \quad \sigma = 55.3 \text{ CPS}$$

$$\bar{X} + 1\sigma = 129.6 \text{ CPS} \quad \bar{X} = \text{MEDIA}$$

$$\bar{X} + 2\sigma = 184.9 \text{ CPS} \quad \sigma = \text{DESVIO PADRAO}$$

$$\bar{X} + 3\sigma = 240.2 \text{ CPS}$$

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTORNO DO POTASSIO

(DADOS DE ANJOS & MOURAO 1988)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

(CPS)
600
240
180
120
80
0

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO II)

$$\bar{X} = 17.0 \text{ CPS}$$

$$\sqrt{s} = 8.0 \text{ CPS}$$

$$\bar{X} + 1\sqrt{s} = 25.0 \text{ CPS}$$

$$\bar{X} = \text{MEDIA}$$

$$\bar{X} + 2\sqrt{s} = 33.0 \text{ CPS}$$

$$\sqrt{s} = \text{DESVIO PADRAO}$$

$$\bar{X} + 3\sqrt{s} = 41.0 \text{ CPS}$$

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTORNO DO URÂNIO

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

(CPS)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

250000

300000

7550000

7500000

7450000

7400000

7350000

GRANDE
SÃO PAULO

(ANEXO III)

$\bar{X} = 67.6$ CPS

$\sqrt{V} = 36.8$ CPS

$\bar{X} + 1\sqrt{V} = 104.4$ CPS

$\bar{X} = \text{MEDIA}$

$\bar{X} + 2\sqrt{V} = 141.2$ CPS

$\sqrt{V} = \text{DESVIO PADRAO}$

$\bar{X} + 3\sqrt{V} = 178.0$ CPS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTOURNO DO TÓRIO

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

(CPS)

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO IV)

$$\bar{X} = 1326.8 \text{ CPS}$$

$$\sqrt{s} = 614.1 \text{ CPS}$$

$$\bar{X} + 1\sqrt{s} = 1940.9 \text{ CPS}$$

$\bar{X}$ = MEDIA

$$\bar{X} + 2\sqrt{s} = 2555.0 \text{ CPS}$$

$\sqrt{s}$ = DESVIO PADRAO

$$\bar{X} + 3\sqrt{s} = 3169.1 \text{ CPS}$$

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL

DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTORNO DA CONTAGEM TOTAL

(DADOS DE ANJOS & MOURAO 1988)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

(CPS)

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO V)

$$\bar{X} = 1315 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\sqrt{\sigma^2} = 1028 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\bar{X} + 1 \sqrt{\sigma^2} = 2343 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\bar{X} = \text{MEDIA}$$

$$\bar{X} + 2 \sqrt{\sigma^2} = 3371 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\sqrt{\sigma^2} = \text{DESVIO PADRAO}$$

$$\bar{X} + 3 \sqrt{\sigma^2} = 4399 \text{ (CPSX1000)}$$

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL

DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

CONTORNO DA RAZÃO K/TH

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

(CPSX1000)

46000
4400
3400
2300
1300
0

ØBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

250000

300000

7550000

7500000

7450000

7400000

7350000

GRANDE
SAO PAULO

(ANEXO VI)

$$\bar{X} = 6650 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\sqrt{\sigma} = 6586 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\bar{X} + 1\sqrt{\sigma} = 13236 \text{ CPSX1000}$$

$$\bar{X} = \text{MEDIA}$$

$$\bar{X} + 2\sqrt{\sigma} = 19822 \text{ CPSX1000}$$

$$\sqrt{\sigma} = \text{DESVIO PADRAO}$$

$$\bar{X} + 3\sqrt{\sigma} = 26408 \text{ CPSX1000}$$

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS
AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

CONTORNO DA RAZAO K/U

(DADOS DE ANJOS & MOURAO 1988)

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

(CPSX1000)

120000
26400
19800
13200
6650
0

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO VII)

$$\bar{X} = 350 \text{ (CPSX1000)} \quad \sigma = 209 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\bar{X} + 1\sigma = 559 \text{ CPSX1000}$$

$\bar{X}$ = MEDIA

$$\bar{X} + 2\sigma = 768 \text{ CPSX1000}$$

σ = DESVIO PADRAO

$$\bar{X} + 3\sigma = 977 \text{ CPSX1000}$$

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS
AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

CONTORNO DA RAZAO U/TH
(DADOS DE ANJOS & MOURAO 1988)

CPSX1000

0 5 10 15 20 25 KM

FERREIRA F.J.F. 1991

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

(ANEXO VIII)

$$\bar{X} = 23084 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\sqrt{\quad} = 19487 \text{ (CPSX1000)}$$

$$\bar{X} + 1\sqrt{\quad} = 42571 \text{ CPSX1000}$$

$$\bar{X} = \text{MEDIA}$$

$$\bar{X} + 2\sqrt{\quad} = 62058 \text{ CPSX1000}$$

$$\sqrt{\quad} = \text{DESVIO PADRAO}$$

$$\bar{X} + 3\sqrt{\quad} = 81545 \text{ CPSX1000}$$

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

CONTORNO DO PARAMETRO $F=K.U/TH$

(DADOS DE ANJOS & MOURÃO 1988)

(CPSX1000)

FERREIRA F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTOURO DO CAMPO AEROMAGNETICO RESIDUAL
(ANEXO IX)

FERREIRA F.J.F. 1991 S

TIGRS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

FERREIRA F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTOURNO DA FILTRAGEM PASSA-BAIXA (F.C. = 0,000176 C/M)

(ANEXO XII)

FERREIRA F.J.F. 1991 S

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTORNO DA CONTINUAÇÃO PARA CIMA - 1000M
(ANEXO XII)

FERREIRA F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTOURNO DA CONTINUAÇÃO PARA CIMA - 2000M

(ANEXO XIII)

FERREIRA F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTORNO DA CONTINUAÇÃO PARA CIMA - 5000M
(ANEXO XIV)

FERREIRA F. J. F. 1991

T
1983
5.2

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

MAPA DE CONTOURNO DA REDUCAO AO POLO
(ANEXO XV)

FERREIRA, F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMASPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL
DO PRE-CAMBRIANO PAULISTA

OBS. PROCESSADO E EDITADO POR FERREIRA (1991) NO DEPEX/PETROBRAS

7550000

7500000

DADOS DE ANJOS E MOURÃO (1988)

7450000

7400000

250000

300000

MAPA DE CONTOURNO DA SUSCEPTIBILIDADE APARENTE
(ANEXO XVI)

FERREIRA F.J.F. 1991

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA DE UM TRATO OCIDENTAL DO PRÉ-CAMBRIANO PAULISTA

- QUATERNÁRIO**
- Sedimentos aluvionares
- TERCIÁRIO**
- Formação São Paulo
 - Coberturas indiferenciadas correlatas à Formação São Paulo
 - Coberturas indiferenciadas correlatas à Formação Rio Claro
 - Formação Rio Claro
- MESOZÓICO**
- Corpo alcalino de Poços de Caldas
 - Formação Serra Geral
 - Formação Pirambóia
- PALEOZÓICO**
- Formação Corumbataí
 - Formação Tatuí
 - Formação Itararé
 - Formação Aquidauana
- ROCHAS GRANITÓIDES PÓS-OROGÊNICAS**
- Biotita-granitos, granitos peralcalinos, sienitos
- SIN-A-TARDI-OROGÊNICAS AO CICLO BRASILIANO**
- Biotita granitos-granodioritos porfíricos
 - Muscovita-biotita granitóides
 - Granitóides migmatíticos
- BATÓLITOS CÁLCIO-ALCALINOS PRÉ-OROGÊNICOS**
- Biotita granitóides equigranulares finos a médios e cinza claros
 - Biotita granitóides porfiroblásticos cinza médio
 - Hornblenda-biotita granitóides
 - Augen gnaisses
- ASSOCIAÇÕES ANTIGAS (PROTEROZÓICO INFERIOR - ARQUEANO)**
- Ortognaisses leucotonalíticos a graníticos migmatizados
 - Ortognaisses leucotonalíticos a graníticos
- ASSOCIAÇÕES DE IDADE INCERTA**
- Ortognaisses graníticos a tonalíticos
 - Granulitos e charnoquitos
- LEGENDA**
- Contato geológico
 - Falha
 - Falha de empurrão
 - Dique de diabásio
 - Sede municipal
 - Limite interestadual

MAPA INDICATIVO DAS PRINCIPAIS UNIDADES TECTÔNICAS

- Bacia Sedimentar do Paraná
- Nappe de empurrão Socorro-Guaxupé
- Faixa Alto Rio Grande
- Domínio São Roque (Apiaí)
- Domínio Embu (Paraíba)

Fontes: Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT 1981)
 Janasi e Ulbrich (1985)
 Vasconcellos e Janasi (1989)
 Janasi et al. (1990)
 Campos Neto e Vasconcellos (1986)

MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO

(ANEXO XVII)