



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA DE METALOGÊNESE

LILIANA SAYURI OSAKO

**ESTUDO DO POTENCIAL MINERAL DO DEPÓSITO URANÍFERO DE LAGOA REAL, BA,
COM BASE EM DADOS GEOLÓGICOS, AEROGEOFÍSICOS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Este exemplar contém todo o texto da
redação final do trabalho de conclusão de curso
por Liliana S. Osako
e aprov. pelo orientador
em 29/03/1999

2

ORIENTADOR

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

Co-Orientador: Prof. Dr. Raimundo de Almeida Filho

CAMPINAS - SÃO PAULO

FEVEREIRO - 1999

1506105





UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA DE METALOGÊNESE

LILIANA SAYURI OSAKO

**ESTUDO DO POTENCIAL MINERAL DO DEPÓSITO URANÍFERO DE LAGOA REAL, BA,
COM BASE EM DADOS GEOLÓGICOS, AEROGEOFÍSICOS E DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências –
Área de Metalogênese

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

Co-Orientador: Prof. Dr. Raimundo de Almeida Filho

CAMPINAS - SÃO PAULO

FEVEREIRO - 1999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA I.G. UNICAMP

O2e Osako, Liliana Sayuri
Estudo do potencial mineral do depósito uranífero de Lagoa Real (BA),
com base em dados geológicos, aerogeofísicos e de sensoriamento remoto
/ Liliana Sayuri Osako Campinas,SP.: [s.n.], 1999.

Orientador: Gilberto Amaral, Raimundo de Almeida Filho
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

1. Urânio – Lagoa Real - BA 2. Processamento Digital de Imagens.
3. Landsat. (satélites) 4. Geofísica .. I. Amaral, Gilberto. II. Almeida
Filho, Raimundo. III. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências. IV Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÁREA DE METALOGÊNESE

AUTORA: LILIANA SAYURI OSAKO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTUDO DO POTENCIAL MINERAL DO DEPÓSITO URANÍFERO DE LAGOA REAL, BA, COM BASE EM DADOS GEOLÓGICOS, AEROGEOFÍSICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilberto Amaral

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Raimundo de Almeida Filho

Aprovada em: ____/____/____

PRESIDENTE: Prof. Dr. Gilberto Amaral

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Gilberto Amaral

Prof. Dr. Álvaro Penteado Crósta

Profa. Dra. Lydia Maria Lobato

Campinas, de de 1999

*Aos meus pais,
Kazue Osako e Reiko N. Osako*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas e entidades que contribuíram direta e indiretamente na realização deste trabalho, especialmente:

-À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida durante o desenvolvimento deste trabalho.

-À Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em especial ao geólogo Paulo Roberto Cruz, pelo auxílio e acesso aos relatórios, mapas geológicos e dados aerogeofísicos da região de Lagoa Real.

-À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) pelo fornecimento dos dados aerogeofísicos do Projeto São Timóteo e Espinhaço Setentrional.

-Ao Prof. Gilberto Amaral pela orientação, incentivo à viabilização do presente trabalho, discussões científicas e sincera amizade.

-Ao Prof. Raimundo de Almeida Filho do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelas sugestões que enriqueceram este trabalho.

-À todos os professores do IG da Unicamp, em especial aos profs. Álvaro P. Crosta, Elizabete Pascholati e Job J. Batista pelas proveitosas discussões científicas; aos profs. Asit Choudhuri e Ardemírio de Barros pelo apoio e amizade; e ao Prof. Carlos R. Souza Filho pelas contribuições significativas.

-À todos os funcionários do IG da Unicamp, em especial à Valdirene Pinotti pela força durante estes anos; e aos analistas de sistemas, Ricardo C. Passanezi e Patrícia C. Leite, pela auxílio técnico no processamento de imagens.

-Aos meus amigos da USP, Lena Soares, Caetano Juliani, Daniel Atencio, Wellington Ferreira, Alexandre Chiarini e Fernando Laureano, pelo incentivo ao início desta pesquisa.

-Ao geólogo Luiz César C. Gomes pelas fervorosas discussões geológicas e dúvidas esclarecidas, e ao Rigoberto Cainzos pelas contribuições na área de geofísica.

-Ao Blau-Blau, Solange, Andrea Mechi, Kubão, MeriWell, Cidinha, Enrico, Lígia, Valéria, Malu, Mineiro, Paco, Penteado, Guttemberg, Eder, Baiano, Bocão, Sílvia, Reglita, Hector, Iriam, Amintas, Sorvetão e a todos os demais amigos, pelo convívio e amizade.

-Ao pessoal da casa, Zé Renato, Bibi, Tati, Carrera e Aninha, pela força de sempre e principalmente durante a finalização deste trabalho.

-Agradecimento especial, ao Neivaldo Castro pelas constantes discussões científicas, carinho e companheirismo ao longo destes anos.

-Aos meus pais, meus irmãos Shim, Coji, Eiji e Miki, à Andreia e à pequena Ayumi, meus sinceros agradecimentos pelo constante incentivo e carinho.

SUMÁRIO

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Sumário	iv
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	x
Resumo	xi
Abstract	xii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Considerações gerais	1
1.2 – Objetivos	2
1.3 – Justificativas	3
1.4 – Metodologia geral	3
1.5 – Localização e vias de acesso	4
1.6 – Aspectos fisiográficos	4
1.6.1 – Clima	6
1.6.2 – Relevo	6
1.6.3 – Hidrografia	6
1.6.4 – Vegetação	8
1.6.5 – Solos	8
CAPÍTULO 2 – ASPECTOS GEOLÓGICOS E MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS NA ÁREA DE ESTUDO	10
2.1 – Geologia regional	10
2.2 - Geologia local	14
2.2.1 – Migmatitos e gnaisses do Bloco Paramirim	15
2.2.2 – Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado	17

2.2.2 – Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado	17
2.2.3 – Complexo Granito-Gnássico Lagoa Real	17
2.2.3.1 – Granito São Timóteo	18
2.2.3.2 – Gnaisses	19
2.2.3.3 – Albititos	20
2.2.3.4 – Leucodioritos	21
2.2.4 – Anfíbolitos e diabásios	21
2.2.5 – Coberturas Cenozóicas	21
2.3 – Dados geocronológicos	22
2.4 – Geologia estrutural	24
2.5 – Potencial econômico da região de Lagoa Real	27
2.6 – Tipos de depósitos uraníferos	27
2.7 – Metalogênese do urânio para a área de estudo	31
2.8 – Estudos geofísicos realizados na região de Lagoa Real	33
CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DIGITAL DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS DO PROJETO SÃO TIMÓTEO	35
3.1 – Considerações iniciais	35
3.2 – Características dos dados aerogeofísicos	35
3.3 – Metodologia	36
3.3.1 – Análise estatística	36
3.3.2 – Conversão dos dados qualitativos para “semi-quantitativos”	36
3.3.3 – Confecção de perfis radiométricos	37
3.3.4 – Geração de malhas regulares	37
3.3.5 – Cálculo do limiar da anomalia radiométrica	38
3.3.6 – Realce dos dados aerogeofísicos	39
3.4 – Resultados	40
3.4.1 – Análise estatística das variáveis aerogeofísicas	40
3.4.2 – Interpretação dos perfis radiométricos de urânio	42
3.4.3 – Interpretação das imagens aerogeofísicas	46

3.4.3.1 – Potássio	46
3.4.3.2 – Urânio	48
3.4.3.3 – Tório	50
3.4.3.4 – Contagem Total em Pseudocor	52
3.4.3.5 – Canais de K, U e Th em RGB	54
3.4.3.6 – Imagem Magnética	56
3.5 – Considerações sobre os resultados obtidos	58
CAPÍTULO 4 – PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS LANDSAT-5/TM DA REGIÃO DE LAGOA REAL	60
4.1 – Considerações iniciais	60
4.2 – Características das imagens multiespectrais da área de estudo	60
4.3 – Metodologia	61
4.3.1 – Correção geométrica	61
4.3.2 – Análise estatística das bandas multiespectrais	61
4.3.3 – Realce litológico	62
4.3.3.1 – Composição Colorida (RGB)	64
4.3.3.2 – Subtração de Bandas	64
4.3.3.3 – <i>Feature-Oriented Principal Component Selection (FPCS)</i>	64
4.3.4 – Realce estrutural	65
4.4 – Resultados	65
4.4.1 – Estatística das bandas multiespectrais	65
4.4.2 – Interpretação das imagens do Landsat-5/TM	67
4.4.2.1 – Imagem TM431 em RGB	67
4.4.2.2 – Subtração das Bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB	69
4.4.2.3 – FPCS em RGB	71
4.4.3 – Análise dos lineamentos	73
4.5 – Considerações sobre os resultados obtidos	73

CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS, AEROGEOFÍSICAS E LANDSAT-5/TM 76

5.1 – Considerações iniciais 76

5.1.1 – Integração das informações do mapa geológico, canal de urânio e da banda 4 do Landsat-5/TM 76

5.1.2 – Contagem total sobreposta à imagem magnética em tons de cinza com filtro direcional E-W 78

5.1.3 – Análise comparativa entre os lineamentos extraídos nas imagens magnéticas e do Landsat-5/TM 78

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS 81

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

Apêndice

Anexo 1 – Mapa geológico da região de Lagoa Real

Anexo 2 – Transparência do mapa geológico

Anexo 3 – Transparência do mapa de drenagens

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização da área de estudo.	5
Figura 1.2 – Mapa altimétrico da área de estudo	7
Figura 1.3 – Mapa de drenagens da área de estudo.	9
Figura 2.1 - Localização da área de estudo no Cráton do São Francisco.	10
Figura 2.2 – Mapa geológico esquemático da porção central do Cráton do São Francisco e perfil geológico da área de estudo.	12
Figura 2.3 – Localização das anomalias de urânio na área de estudo.	16
Figura 2.4 – Mapa de domínios estruturais da região de Lagoa Real.	26
Figura 2.5 – Relação da reserva de urânio observado nos principais depósitos uraníferos com o tempo geológico	28
Figura 2.6 – Representação esquemática da superfície da Jazida Laranjeiras com anomalias radiométricas de U e Th.	34
Figura 3.1 - (I) Localização da linha de vô sobre a Janela 1 do mapa geológico e (II) perfil radiométrico do canal de urânio A-A’.	43
Figura 3.2 – (III) Janela 2 do mapa geológico com a linha de vô e (IV) perfil radiométrico do urânio B-B’.	44
Figura 3.3 – (V) Janela 3 extraída do mapa geológico com a localização da linha de vô e (VI) perfil radiométrico C-C’.	45
Figura 3.4 – Imagem do canal de potássio em pseudocor com o aumento de contraste do tipo “level slice”.	47
Figura 3.5 – Imagem do urânio em pseudocor com o aumento de contraste do tipo “level slice”.	49
Figura 3.6 – Imagem do canal de tório em pseudocor com aumento de contraste do tipo “level slice”.	51
Figura 3.7 – Imagem gerada a partir da contagem total em pseudocor.	53
Figura 3.8 – Imagem em RGB para os canais radiométricos de K, U e Th.	55
Figura 3.9 – Imagem com o campo magnético residual em pseudocor com filtro direcional E-W.	57
Figura 3.10 – Diagrama de rosetas das feições estruturais observadas na imagem	58

magnética.

Figura 4.1 – Assinaturas espectrais da albita, caolinita, goethita e hematita ao longo do espectro eletromagnético com as janelas das 6 bandas do Landsat-5/TM	63
Figura 4.2 – Composição colorida das bandas 4, 3 e 1.	68
Figura 4.3 – Composição colorida RGB da subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7.	70
Figura 4.4 – Imagem gerada com a aplicação da técnica FPCS em RGB sobreposta à PCI.	72
Figura 4.5 – Imagem da banda 4 do Landsat-5/TM em tons de cinza com a sobreposição dos lineamentos em vermelho.	74
Figura 4.6 – Diagrama de rosetas com os lineamentos extraídos na imagem de satélite	75
Figura 5.1 - Localização das principais anomalias de urânio da área de estudo obtidas através da integração entre a banda 4 do Landsat-5/TM, dados do canal de urânio e o mapa geológico.	77
Figura 5.2 – Integração dos dados magnéticos em tons de cinza com o contorno da contagem total ($CT > 1.166$ cps em verde e de $464 < CT < 1.166$ cps em azul).	79
Figura 5.3 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos na imagem magnética (A) e na imagem do Landsat-5/TM (B).	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Faciologia dos gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.	19
Tabela 2.2 – Dados geocronológicos das principais unidades litológicas da região de Lagoa Real.	23
Tabela 2.3 - Tipos de depósitos de urânio.	30
Tabela 3.1 – Dados gamaespectrométricos e magnetométricos originais da área de estudo	40
Tabela 3.2- Dados estatísticos dos canais de K, U, Th em teores aparentes.	40
Tabela 3.3 - Dados estatísticos das variáveis aerogeofísicas obtidos após a interpolação.	41
Tabela 3.4 – Valores do limiar da anomalia (LA) dos canais de K, U, Th e contagem total.	41
Tabela 3.5– Intervalos sugeridos para a distinção de áreas anômalas e não-anômalas.	41
Tabela 4.1 – Dados dos 7 pontos de controle utilizados para o georreferenciamento da imagem.	62
Tabela 4.2 – Dados estatísticos das 6 bandas espectrais utilizadas.	66
Tabela 4.3 – Matriz de correlação	66
Tabela 4.4 – Matriz de autovetores das bandas 1, 3, 4 e 5.	67
Tabela 4.5– Matriz de autovetores da bandas 1, 4, 5 e 7.	67



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/DMG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**ESTUDO DO POTENCIAL MINERAL DO DEPÓSITO URANÍFERO DE LAGOA
REAL, BA, COM BASE EM DADOS GEOLÓGICOS, AEROGEOFÍSICOS E DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Liliana Sayuri Osako

A análise integrada de informações geológicas, aerogeofísicas e do Landsat-5/TM permitiu a obtenção de uma grande quantidade de dados adicionais à geologia regional e ao controle da mineralização uranífera na região de Lagoa Real. Esta região possui a segunda maior jazida de urânio do país, na qual a concentração uranífera ocorre associada aos corpos albitíticos do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real de idade Mesoproterozóica, inserido no Bloco Paramirim do Cráton do São Francisco. Os dados aerogamaespectrométricos mostraram-se eficazes na detecção direta de áreas potencialmente radioativas, permitindo a delimitação espacial de áreas anômalas daquelas não-anômalas. Os dados magnéticos destacaram feições estruturais regionais com direções: 30°, 70°, 170°, 0° e 140°, estas duas últimas direções ocorrem associadas à zona de cisalhamento dúctil. As imagens do Landsat-5/TM obtidas no início da época da seca, realçaram a resposta espectral da vegetação do tipo cerrado, que recobre as rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Os solos residuais (óxidos hidróxidos de ferro e argilominerais) não apresentaram correlação com os corpos albitíticos devido a intensa alteração intempérica observada na área de estudo. A análise estatística dos lineamentos extraídos nas imagens Landsat-5/TM, destacou direções estruturais de forma muito dispersa. A comparação entre as feições lineares magnéticas e os lineamentos das imagens do Landsat-5/TM permitiu a discriminação das principais direções estruturais.



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/DMG
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE**

**MINERAL POTENTIAL OF THE LAGOA REAL URANIUM DISTRICT, STATE OF BAHIA,
BRAZIL, BASED IN GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL AND REMOTE SENSING DATA.**

ABSTRACT

MASTER OF SCIENCE

Liliana Sayuri Osako

Integrated analysis of available geological, geophysical and remote sensing data for the Lagoa Real District yielded a large amount of additional data regarding regional geology and ore control. This district is Brazil's second largest uranium reserve, associated with albitite lenses enclosed in Mesoproterozoic granitic rocks within the Paramirim block, at the southern portion of the São Francisco Craton. Airborne gamma spectrometry data were useful for delineating known and probable uranium anomalies. Magnetic data were useful for extraction of regional structural information, indicating discontinuities in the 30°, 70°, 170°, 0° and 140° azimuths, the last two being the main directions of the albitite lens, associated with a regional ductile flexure. Landsat 5 – TM image for the beginning of the dry season enhanced mainly vegetation (savanna type) differences which could be associated to the main lithologic units. Residual soil (clay and iron oxides and hydroxides) presented almost no difference due to the widespread lateritic weathering. Landsat lineament statistical analysis was disturbed by random directions. However, comparison with magnetic linear features allowed discrimination of the main structural directions.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

Entre as décadas de 70 e 80, houve uma intensificação nos serviços de levantamentos aerogeofísicos sistemáticos em quase todo o território nacional, visando a identificação de áreas enriquecidas em urânio. Um dos fatores que motivou a pesquisa e prospecção de urânio, foi o acordo de “Cooperação de Usos Pacíficos da Energia Nuclear”, firmado entre o Brasil e a Alemanha em 1975 (Pereira 1990). A partir deste acordo foram identificados no território brasileiro 8 depósitos de urânio com reserva total em torno de 300.000t de U_3O_8 .

Os depósitos uraníferos de Lagoa Real (BA), área de pesquisa deste trabalho, possuem uma reserva total de aproximadamente 100.000t de U_3O_8 (Oliveira *et al.* 1985). A descoberta dos primeiros indícios das anomalias radioativas deve-se ao levantamento aerogeofísico do Projeto Espinhaço Setentrional realizado na Bahia em 1975.

Objetivando a detecção direta dos corpos uraníferos, em 1979 foi efetuado um levantamento aerogeofísico de detalhe denominado de Projeto São Timóteo, através do convênio entre a extinta Nuclebrás e a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Ao mesmo tempo foram obtidos dados magnéticos com o objetivo de caracterizar as feições estruturais e tentar dimensionar os litotipos da região em subsuperfície.

Em continuidade a essas pesquisas, estudos voltados à avaliação econômica dos depósitos foram realizados pela Nuclebrás em convênio com a CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral). Tais estudos culminaram na confecção do mapa geológico de detalhe da região (Costa *et al.* 1985).

Em 1996, com o encerramento da exploração de urânio no Complexo Mineiro-Industrial do Planalto de Poços de Caldas (MG), a INB (Indústrias Nucleares do Brasil S.A), em parceria com a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), iniciou um projeto básico na região de Lagoa Real para a instalação de uma usina de concentrado de urânio (INB 1996).

O grande número de dados geológicos e aerogeofísicos disponíveis na região de Lagoa Real, bem como a perspectiva de exploração das principais jazidas de urânio para os próximos anos motivaram o presente trabalho, o qual baseia-se principalmente na aplicação de técnicas de

processamento digital de forma integrada em informações geológicas e aerogeofísicas existentes e nas imagens do Landsat-5/TM da área de estudo.

Os dados aerogeofísicos existentes podem ser reprocessados devido ao avanço tecnológico da informática que permite maior rapidez no tratamento de grande quantidade de dados e, principalmente, versatilidade na aplicação de técnicas de processamento digital. Deste modo, a representação das variáveis aerogeofísicas na forma digital permite que as ocorrências anômalas sejam visualizadas espacialmente, auxiliando na caracterização de áreas potencialmente econômicas à exploração mineral.

O uso das imagens obtidas pelos sensores orbitais, como o Landsat-5/TM, também são essenciais no meio geológico, contribuindo na pesquisa e na prospecção de bens minerais de interesse econômico e no mapeamento geológico básico de extensas áreas. Para realçar as informações multispectrais são aplicadas técnicas de processamento digital de imagens (PDI) para um melhor discernimento espectral das entidades geológicas e pedológicas. Os lineamentos também são facilmente visualizados nas imagens de satélite, possibilitando a utilização destes para a obtenção de informações sobre o comportamento estrutural da área de estudo através da compilação vetorial.

Atualmente, a integração das informações aerogeofísicas e de sensoriamento remoto na forma digital em conjunto com o mapa geológico vem sendo otimizada através de *software* e *hardware* cada vez mais potentes, permitindo a visualização simultânea e uma melhor avaliação do conjunto de informações analisadas.

1.2 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade das técnicas de processamento digital de imagens (PDI) na análise integrada de informações geológicas, aerogeofísicas e de sensoriamento remoto visando a identificação de depósitos uraníferos na região de Lagoa Real (BA).

Adicionalmente, pretende-se fazer uma breve discussão sobre a geologia da região e também sobre a tipologia dos depósitos de urânio, o que deve permitir, então, uma contribuição à metalogênese das concentrações uraníferas presentes na região.

1.3 – JUSTIFICATIVAS

Como justificativas para a realização deste trabalho, cita-se:

- a importância dos depósitos uraníferos de Lagoa Real pelo seu reconhecimento como uma das maiores reservas de urânio do país;
- a disponibilidade dos dados do mapeamento geológico de detalhe do Projeto Lagoa Real realizado pela extinta Nuclebrás em convênio com a CBPM, dos dados aerogeofísicos de média resolução do Projeto São Timóteo, e das imagens do Landsat-5/TM, de boa qualidade;
- a ocorrência da mineralização uranífera associada aos corpos lenticulares de albitos e aos seus produtos de alteração (caolinita e óxidos e hidróxidos de ferro), cujas feições espectrais diagnósticas muitas vezes permitem a identificação desses litotipos nas imagens de satélite;
- a importância dos aspectos fisiográficos, como o clima (tropical quente e semi-úmido) e a vegetação (cerrado e caatinga) da área de estudo, que podem contribuir favoravelmente à interpretação dos resultados; e
- a possibilidade de desenvolver uma metodologia de trabalho que auxilie na pesquisa e na prospecção de depósitos uraníferos em outras regiões com os contextos geológico e ambiental semelhantes aos da área de estudo.

1.4 – METODOLOGIA GERAL

A metodologia empregada para a realização do presente trabalho consistiu em seis (6) principais etapas descritas abaixo:

- 1) revisão bibliográfica das características geológicas da área de estudo;
- 2) uma breve discussão sobre a tipologia dos depósitos de urânio;
- 3) digitalização do mapa geológico do Projeto Lagoa Real (1:25.000) e de drenagens das folhas topográficas Itanajé e Caetité (1:100.000), com a confecção do mapa geológico final;
- 4) processamento digital dos dados aerogeofísicos, através da conversão dos valores qualitativos para “semi-quantitativos”, confecção de perfis radiométricos, interpolação

das variáveis, obtenção do limiar da anomalia para cada radioelemento (K, U, Th e contagem total), e a aplicação de técnicas de PDI na tentativa de destacar a distribuição anômala dos dados gamaespectrométricos, e extrair informações estruturais dos dados magnéticos da área de estudo;

- 5) processamento digital de imagens do Landsat-5/TM, com destaque às principais técnicas de PDI implementadas para tentar realçar os solos residuais da área de estudo, e à compilação vetorial e análise estatística dos lineamentos observados nas imagens;
- 6) Integração das informações geológicas, aerogeofísicas e do Landsat-5/TM em ambiente digital.

A descrição pormenorizada da metodologia empregada neste trabalho, bem como a interpretação dos resultados obtidos serão apresentados nos capítulos subsequentes.

1.5 – LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo localiza-se na parte centro-sul do estado da Bahia, entre as coordenadas UTM 783.869 a 810.935E e 8.436.529 a 8.478.049N, ocupando parte das quadrículas das folhas Itanajé (SD-23-X-D-VI) e Caetité (SD-23-Z-B-III). A área compreende aproximadamente 1.120km², onde os vilarejos de Lagoa Real e São Timóteo encontram-se inseridos (Figura 1.1).

Os vilarejos de Lagoa Real e São Timóteo pertencem ao município de Caetité que dista em torno de 760 km de Salvador. O acesso a área de estudo pode ser realizado pela BR-122 ou pela BR-030, esta última rodovia passa pelo município de Vitória da Conquista e Brumado.

1.6 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Os aspectos fisiográficos abordados neste item compreendem as características climáticas, geomorfológicas, hidrográficas, biológicas (vegetação) e pedológicas observadas na área de estudo. Estas características constituem em informações de grande importância no auxílio à interpretação dos resultados obtidos neste trabalho.

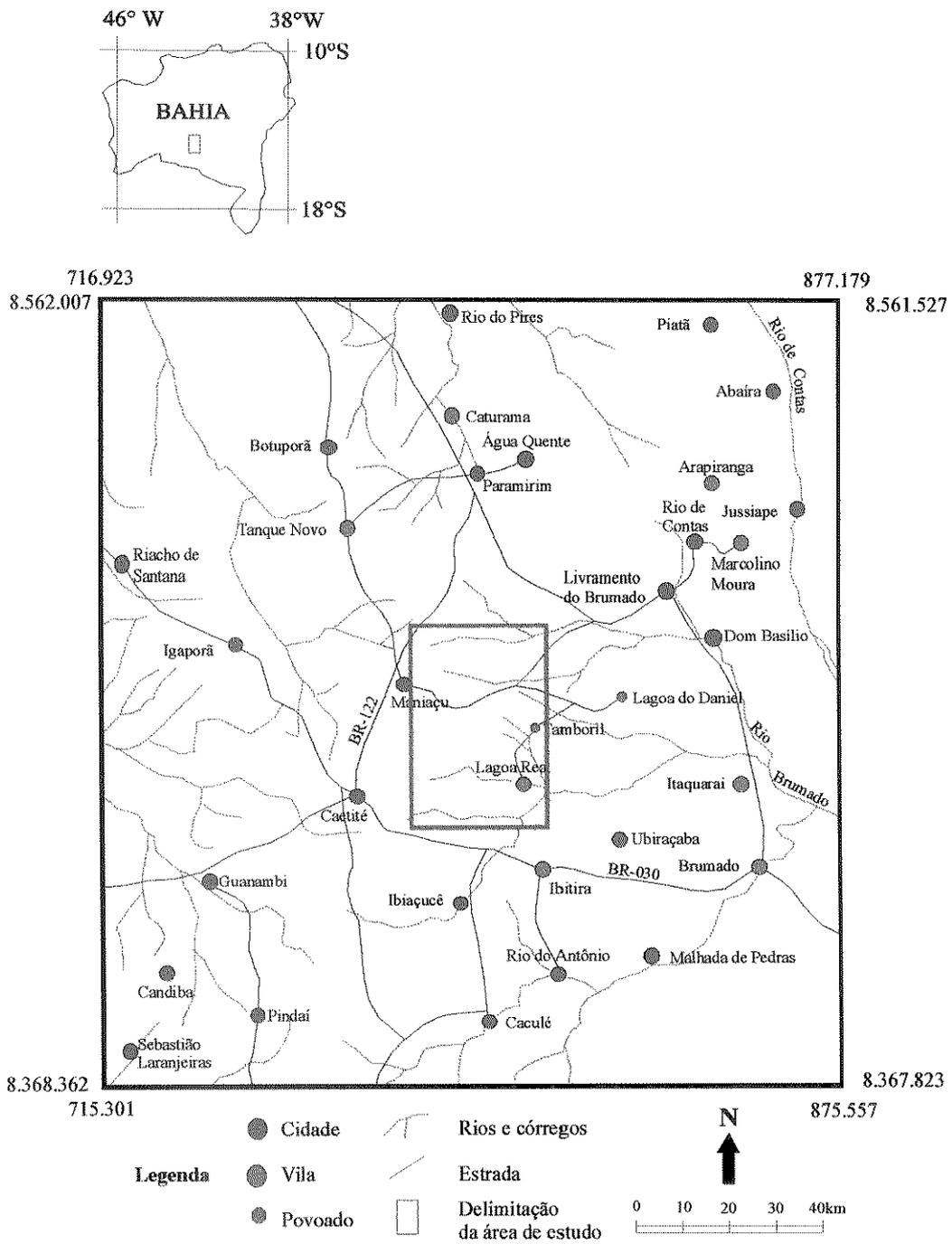


Figura 1.1 – Localização da área de estudo (Modificado de Sobrinho *et al.* 1980).

1.6.1 – CLIMA

Segundo Nimer (1977) a região de Lagoa Real apresenta clima tropical quente e semi-úmido, com duas estações distintas: a época de seca, que ocorre de maio a setembro, e a úmida de outubro a abril. A temperatura média anual da região é de 22°C, com temperatura mínima mensal de 18°C e máxima de 25°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 800 mm.

1.6.2 – RELEVO

Os conhecimentos sobre trabalhos relativos aos aspectos geomorfológicos observados na região são baseados nos trabalhos desenvolvidos por Mauro *et al.* (1982), que definem as feições num contexto regional, e por Schmitt *et al.* (1989), que ressaltam as características do relevo com mais detalhe (Figura 1.2). Esses autores sugerem 3 principais feições geomorfológicas: Pediplano Sertanejo ou Baixo Platô Oriental; Patamar Oriental do Espinhaço ou Unidade Escarpada Central; e Superfície dos Gerais ou Alto Platô Ocidental.

O Baixo Platô Oriental está localizado na porção leste da área e apresenta altitudes entre 500 e 650m, sendo recoberto por material coluvionar. Segundo Rocha (1991), são observadas na porção sul da área de estudo regiões com altitudes abaixo de 500 m, correspondendo à Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado. A Unidade Escarpada Central está situada na zona intermediária entre o baixo e o alto platô. A altitude dessa feição geomorfológica varia de 650 a 900 m, sendo que os entalhes de drenagens apresentam aprofundamentos de 88 a 133 m e formas em “V”. O Alto Platô Ocidental ocupa o extremo oeste da área e alcança altitudes que variam de 900 a 1.200 m, caracterizando um relevo aplainado com morros residuais, com altitude acima de 1.000 m (Rocha 1991).

1.6.3 – HIDROGRAFIA

Segundo Rocha (1991) os principais rios e riachos que drenam a região oriental da área de estudo estão situados na Bacia Hidrográfica do Rio de Contas. São geralmente rios intermitentes, que apresentam-se secos no inverno e cheios na época da chuva.

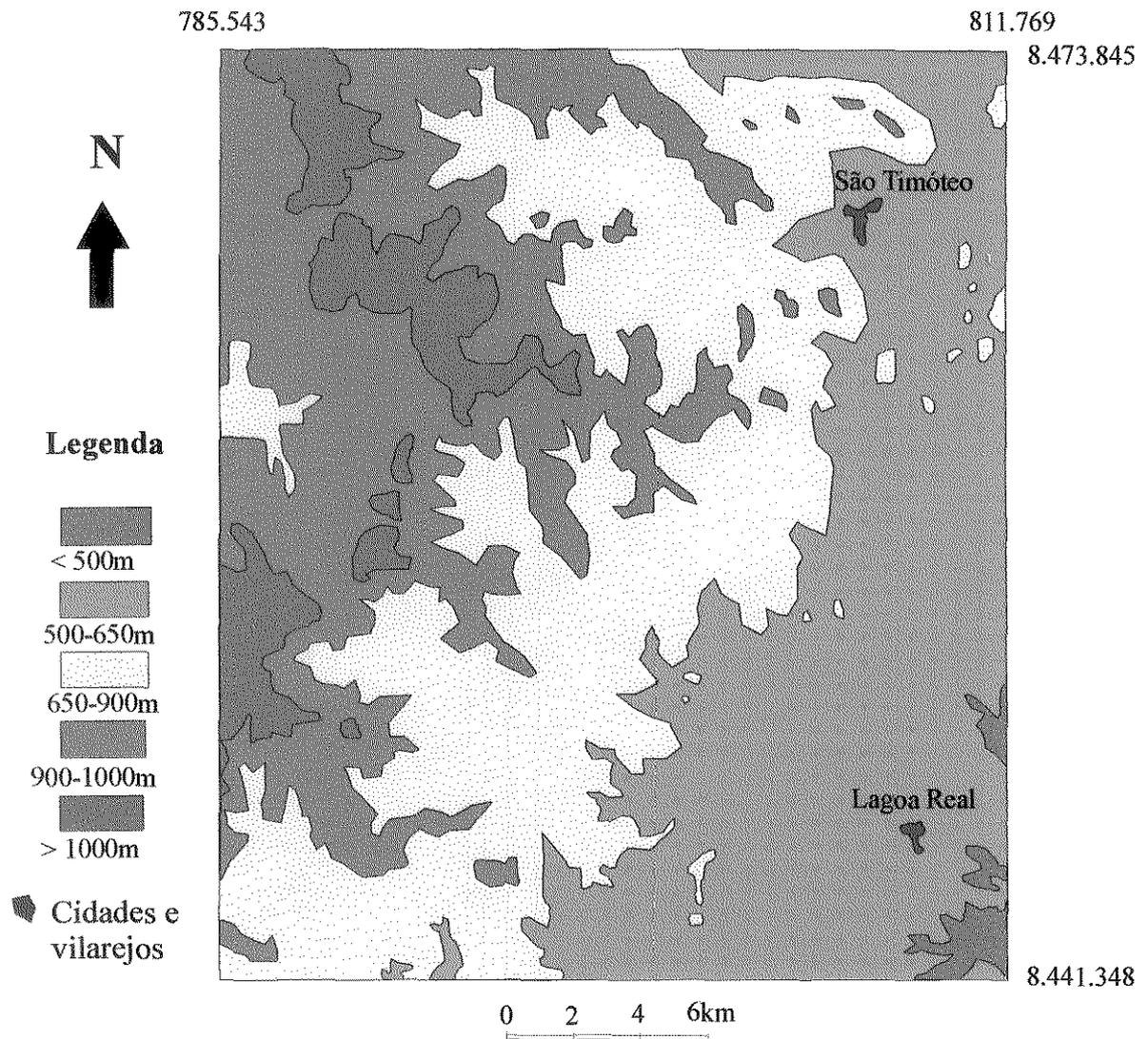


Figura 1.2 – Mapa altimétrico da área de estudo (Schmitt *et al.* 1989)

Os córregos situados na Superfície dos Gerais, por outro lado, compõem a Bacia do Rio São Francisco localizada a oeste da área de estudo.

Com base no padrão de drenagem observado na Figura 1.3, a área de estudo foi dividida em 2 domínios distintos. Segundo a definição do tipo de drenagem estabelecida por Cristofolletti (1980), o domínio 1 foi caracterizado como tipo retangular e o domínio 2 como tipo angular. A descrição de cada domínio é apresentada a seguir:

Domínio 1 – Localizado na porção oeste e a nordeste da área em apreço, este domínio é caracterizado pela drenagem do tipo retangular que destaca a mudança brusca dos cursos fluviais apresentando ângulos de aproximadamente 90° entre os canais. Este tipo de drenagem reflete o arcabouço estrutural das rochas localizadas em subsuperfície.

Domínio 2 – A drenagem do tipo angular é predominante nas porções central e sudeste da área de estudo. A sua forma é caracterizada por canais multidirecionais gerados por forte controle estrutural.

1.6.4 – VEGETAÇÃO

Segundo Silva & Assis (1982), dois (2) tipos principais de cobertura vegetal são observados na área de estudo: a caatinga e o cerrado. A vegetação do tipo caatinga ocorre no extremo leste da área, sobre o Pediplano Sertanejo. Esta região é caracterizada pela vegetação lenhosa, composta por fanerófitas espinhentas, cactáceas suculentas, e tufo de gramíneas. São frequentes a *braúna*, *umburana-de-cambão*, *sucupira*, *angico* e *catingueira*. A região de ocorrência do cerrado situa-se no Patamar Oriental do Espinhaço e na Superfície dos Gerais. As principais espécies vegetais encontradas nesta região são: o *joazeiro*, *quixabeira*, *braúnas* e *pau-d'arco-roxo*.

1.6.5 - SOLOS

Segundo Rocha (1991), a porção leste denominada geomorfologicamente de Pediplano Sertanejo apresenta latossolo friável com material alóctone. Na parte superior da região escarpada as rochas encontram-se pouco alteradas, com algumas ocorrências de material alóctone

CAPÍTULO 2 – ASPECTOS GEOLÓGICOS E MINERALIZAÇÕES RADIOATIVAS NA ÁREA DE ESTUDO

2.1 – GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo situa-se a SW do estado da Bahia, na porção central do Cráton do São Francisco, definido por Almeida (1977), como um núcleo cratônico que foi consolidado ao final do Paleoproterozóico e que teria atuado como antepaís para a formação das Faixas Marginais de Dobramentos Araçuaí, Brasília, Riacho do Pontal e Sergipana, todas de idades Neoproterozóica (Fig. 2.1).

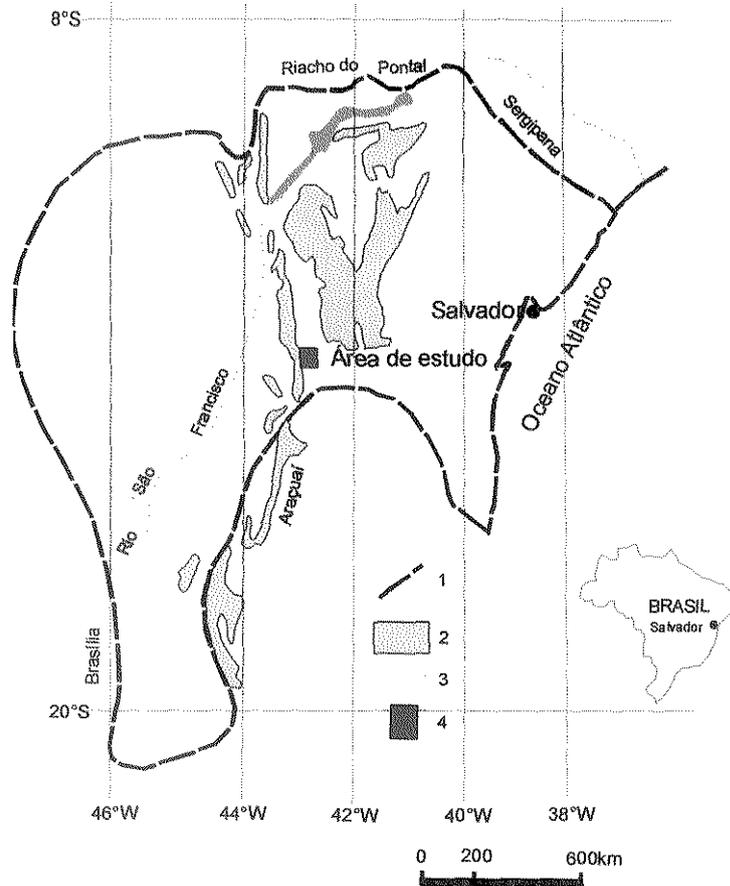


Figura 2.1 - Localização da área de estudo no Cráton do São Francisco. Legenda: (1) limite aproximado do Cráton do São Francisco, definido por Almeida (1977); (2) Supergrupo Espinhaço (Mesoproterozóico); (3) drenagem e (4) delimitação da área de estudo.

A compartimentação geotectônica do Cráton do São Francisco engloba unidades do embasamento Arqueano e Paleoproterozóico, extensas coberturas Mesoproterozóicas e Neoproterozóicas, faixas de dobramentos Neoproterozóicas, e depósitos de coberturas Fanerozóicas (Barbosa *et al.* 1996).

Caby & Arthaud (1987), Turpin *et al.* (1988), Trompette *et al.* (1992), Magnavita & Rocha (1996) discutiram a validade da delimitação estabelecida por Almeida (1977) para o referido cráton. Esses autores basearam-se nos estudos geológicos realizados na porção central do Cráton do São Francisco, principalmente sobre o embasamento arqueano representado pelo Bloco Paramirim, rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e metassedimentos do Supergrupo Espinhaço de idade mesoproterozóica,

Trompette *et al.* (1992) ressaltaram a existência de dois crátons com base nos dados estruturais de Caby & Arthaud (1987) e nas datações radiométricas realizadas por Turpin *et al.* (1988) na região de Lagoa Real, e propuseram a separação do Cráton do São Francisco em: (i) Cráton do São Francisco propriamente dito, na porção sudoeste do Bloco Paramirim, e (ii) Cráton de Salvador, a leste. Sendo que a faixa que separa estes blocos cratônicos seria denominada de Faixa Paramirim (Figura 2.2).

A proposta de Trompette *et al.* (1992) retoma a idéia inicial de Cordani (1973) que havia proposto a divisão do cráton em duas unidades, com base nas datações radiométricas de K/Ar efetuadas na região por Távora *et al.* (1967). Essas datações reforçam a existência de um evento termal durante o ciclo Brasileiro nas rochas do Bloco Paramirim, o qual teria aberto localmente o sistema K/Ar.

Magnavita & Rocha (1996) reinterpretaram a evolução tectônica das coberturas Mesoproterozóicas do Cráton do São Francisco e sugeriram que o Bloco Paramirim seria a continuidade da Faixa de Dobramentos Araçuaí, reafirmando a atuação dos eventos tectônicos brasileiros neste bloco.

Todos os autores citados anteriormente apontaram evidências de eventos tectono-termiais na porção central do Cráton do São Francisco durante o Brasileiro. Estas evidências entram em conflito com a estabilidade atribuída ao cráton de Almeida (1977) após a sua estabilização no final do Paleoproterozóico.

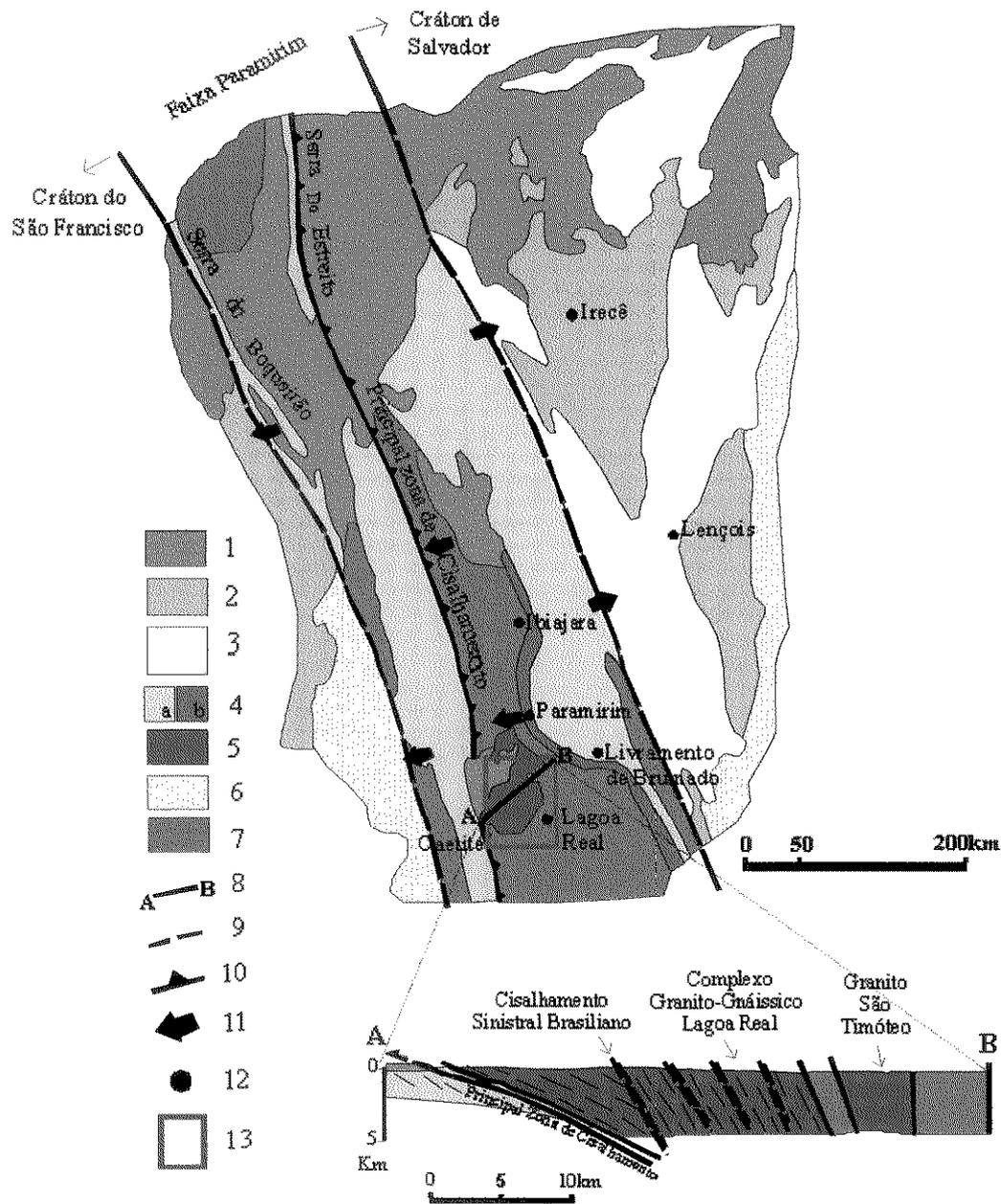


Figura 2.2 – Mapa geológico esquemático da porção central do Cráton do São Francisco perfil geológico da área de estudo (Modificado de Trompette *et al.* 1992). Legenda: (1) Cobertura Cenozóica; (2) Cobertura Neoproterozóica; (3) Cobertura Mesoproterozóica; (4) Metassedimentos (a) e metavulcânicas (b) do Mesoproterozóico, deformados no Brasiliano; (5) Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real; (6) embasamento gnáissico-migmatítico policíclico; (7) embasamento gnáissico-migmatítico policíclico, indicando vergência tectônica; (8) perfil esquemático; (9) falha; (10) falha de cavalgamento; (11) vergência tectônica, (12) cidades e (13) delimitação da área de estudo.

As áreas de atuação deste evento tectono-termal e os processos que realmente ocorreram durante a evolução geológica do cráton provavelmente serão esclarecidos com a realização de trabalhos temáticos mais detalhados, não constituindo o principal objetivo desta dissertação.

Neste trabalho serão considerados os limites do cráton como aqueles estabelecidos por Almeida (1977). No entanto, a sua porção central, e mais precisamente a área de estudo, será analisada dentro de um ponto de vista geológico mais próximo daquele observado nos trabalhos de Caby & Arthaud (1987), Turpin *et al.* (1988) e Magnavita & Rocha (1996).

Fazendo agora uma aproximação à área de estudo, é possível observar que os depósitos uraníferos de Lagoa Real ocorrem associados ao Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Este complexo possui idades mesoproterozóicas e se encontra incluso no Bloco Paramirim de idade Arqueana. É ainda limitado a sul pela Sequência Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado (Paleoproterozóico), a oeste e a leste, pelos conjuntos deposicionais dos Supergrupos Espinhaço (Mesoproterozóico) São Francisco (Neoproterozóico), e coberta por depósitos Cenozóicos.

A compartimentação geotectônica representada pelo Bloco Paramirim é constituída por rochas tonalito-granodiorito-graníticas que foram geradas a partir de uma crosta continental antiga do tipo TTG (Trojemitito-Tonalito-Granodiorítica).

Segundo Silva (1996), o Bloco Paramirim engloba ainda a Sequência Metavulcanossedimentar Ibitira-Brumado do Bloco Gavião. Esta unidade geotectônica foi formada pela aglutinação de pequenas bacias oceânicas durante o Paleoproterozóico.

A partir do Mesoproterozóico teve início a formação de uma bacia de caráter extensional no Cráton do São Francisco, com importantes eventos magmáticos associados, como por exemplo, a intrusão de corpos graníticos alcalinos, do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, e a extrusão de rochas vulcânicas ácidas do Grupo Santo Onofre e Rio dos Remédios. Após estas atividades magmáticas, ocorreu a deposição dos sedimentos plataformais dos Supergrupos Espinhaço (Mesoproterozóico) e São Francisco (Neoproterozóico). O Supergrupo Espinhaço, na região do Espinhaço Setentrional, é constituído pelo Grupo Santo Onofre e na porção oriental, é formado pelos grupos Rio dos Remédios, Paraguaçu e Chapada Diamantina.

Dominguez (1993) sugeriu uma modificação na coluna litoestratigráfica do Supergrupo Espinhaço, com a subdivisão do Grupo Santo Onofre em Grupos Borda Leste e Serra Geral, no Espinhaço Setentrional e a inclusão das rochas vulcânicas do Grupo Rio dos Remédios, na porção basal do Grupo Paraguaçu, na região da Chapada Diamantina. Este autor correlacionou a

formação do Grupo Borda Leste com a formação do Grupo Rio dos Remédios-Paraguaçu, e a do Grupo Serra Geral com a do Grupo Chapada Diamantina.

Com base no trabalho de Dominguez (1993), as unidades litológicas sobrejacentes às rochas vulcânicas ácidas, compreendem sequências sedimentares depositadas em ambientes eólico, marinho e planície de maré (grupos Borda Leste e Rio dos Remédios-Paraguaçu). Sobre estas sequências existe uma discordância erosiva regional, que sugere o início da deposição dos Grupos Serra Geral e Chapada Diamantina. Dentre estes dois últimos grupos apenas o Grupo Chapada Diamantina apresenta uma estratigrafia bem definida, sendo constituído pelas Formações Tombador (ambiente fluvial), Caboclo (ambiente marinho raso) e Morro do Chapéu (ambiente estuarino).

Ao final deste ciclo deposicional mesoproterozóico, teve início a deposição de uma cobertura plataformal neoproterozóica correspondente ao Supergrupo São Francisco, que ocorre sobreposto ao Supergrupo Espinhaço. A divisão entre estes dois supergrupos é marcada por uma discordância erosiva regional. O Supergrupo São Francisco, na Bacia do São Francisco, é constituído pelos grupos Macaúbas, de ambiente glacial, e Bambuí, de ambiente marinho raso. Na região da Chapada Diamantina é representado pelo Grupo Una, nas bacias de Irecê e Utinga. O Grupo Una é constituído pelas formações Bebedouro, de ambiente glacial, e Salitre, de ambiente marinho raso (Dominguez 1993).

Por fim, ocorrem as coberturas recentes cenozóicas que compreendem os sedimentos terciários e quaternários. Os sedimentos terciários são depósitos continentais detríticos eluvionares, correlacionáveis aos ciclos Sul-Americano e Velhas (King 1956). Os sedimentos quaternários são depósitos aluviais que ocorrem ao longo das drenagens, associados ao ciclo Paraguaçu.

2.2 – GEOLOGIA LOCAL

Trabalhos pioneiros de mapeamento geológico e da avaliação econômica dos depósitos uraníferos de Lagoa Real foram realizados por Sobrinho *et al.* (1980), Stein *et al.* (1980), Fernandes *et al.* (1982), Villaça & Hashizume (1982), Brito *et al.* (1984), Oliveira *et al.* (1985), Costa *et al.* (1985), a partir da constatação de anomalias radioativas na região.

Oliveira *et al.* (1985) confirmaram a existência de trinta (30) anomalias de urânio na região de Lagoa Real, com destaque às Jazidas Cachoeira, do Engenho, das Quebradas, Laranjeiras, da Rabicha e Modesto (Figura 2.3).

Em continuidade a esses trabalhos, estudos voltados à caracterização da mineralização uranífera da área em apreço foram realizados por Fuzikawa *et al.* (1980), Lobato *et al.* (1983), Hasui (1983), Lobato (1985), Maruéjol *et al.* (1987), Caby & Arthaud (1987), Fuzikawa *et al.* (1988), Turpin *et al.* (1988), Cordani *et al.* (1992) e Pimentel *et al.* (1994).

Dentre estes trabalhos, destaca-se o mapeamento geológico de detalhe realizado por Costa *et al.* (1985) na área de estudo. Estes autores caracterizaram as principais unidades litológicas aflorantes na região de Lagoa Real, as quais encontram-se representadas no mapa geológico do Anexo 1.

Com base no trabalho de Costa *et al.* (1985) e nos estudos dos autores citados acima, a área de estudo é constituída pelas seguintes unidades litológicas: migmatitos e gnaisses do Bloco Paramirim, Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado, Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, anfíbolitos e diabásios, e coberturas sedimentares Cenozóicas.

2.2.1 – MIGMATITOS E GNAISSES DO BLOCO PARAMIRIM

Os migmatitos e gnaisses do Bloco Paramirim ocorrem principalmente na porção sudeste da área de estudo. Esta unidade litológica apresenta composição variando de granodiorítica a tonalítica.

Dois tipos de migmatitos foram identificados no Bloco Paramirim: os migmatitos heterogêneos ou metatexitos; e os homogêneos ou diatexitos. Os migmatitos heterogêneos apresentam uma textura cataclástica intensamente deformada, e os migmatitos homogêneos apresentam composição variando de granítica a sienítica, com leucossoma pegmatoidal, e o melanossoma constituído basicamente por biotita e anfibólio (Lobato 1985).

Segundo Costa *et al.* (1985), existem poucos afloramentos das rochas do Bloco Paramirim na área de estudo. Em geral, são observadas extensas áreas com o manto de alteração intempérica espesso constituído por um solo arenoso fino.

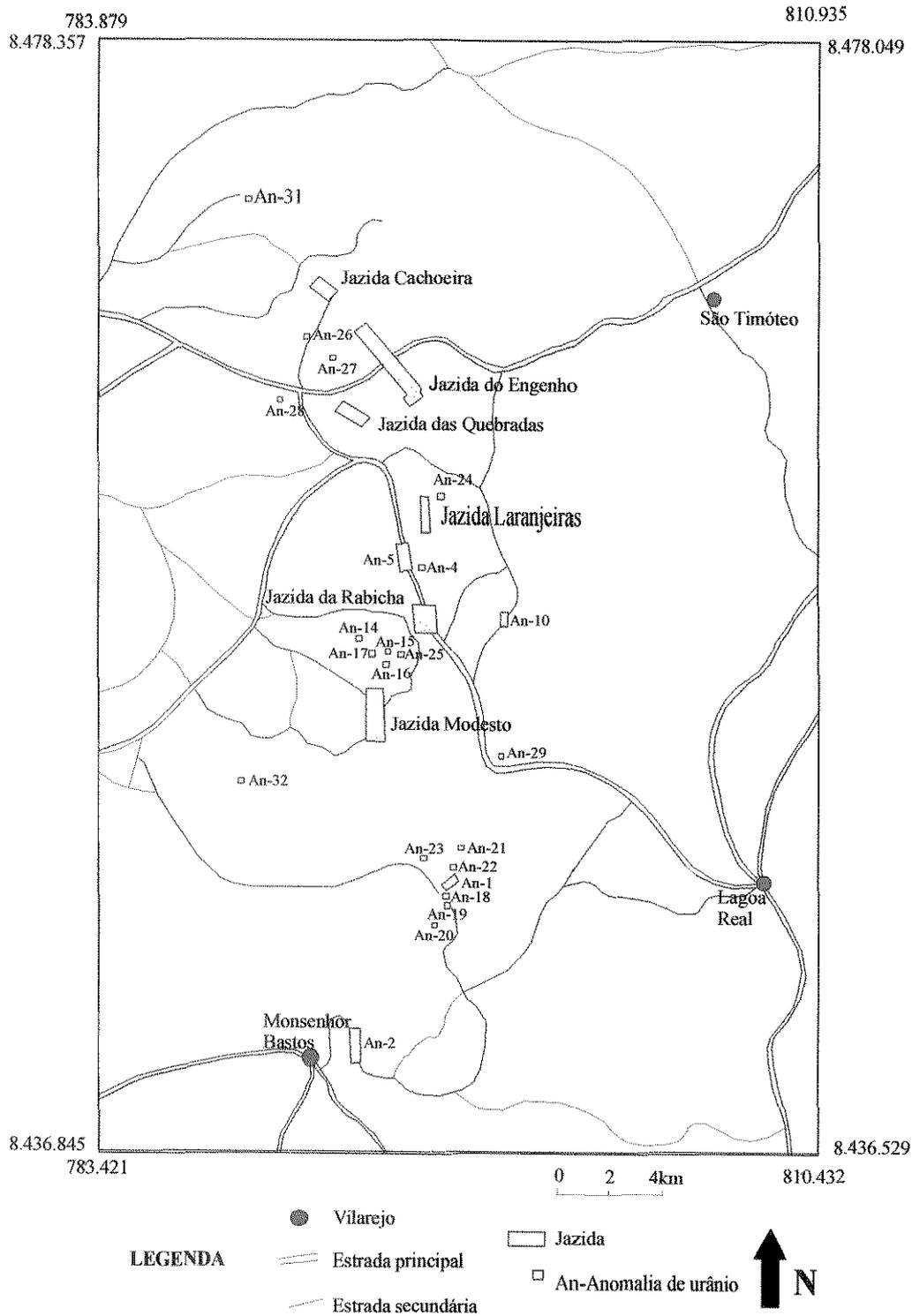


Figura 2.3 – Localização das anomalias de urânio na área de estudo (Costa *et al.* 1985).

2.2.2 – UNIDADE VULCANOSSEDIMENTAR IBITIRA-BRUMADO

A Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado de idade Paleoproterozóica, compreende quartzitos, rochas calciossilicáticas, mármore, formação ferrífera bandada, e rochas máficas e ultramáficas (Costa *et al.* 1985).

Os quartzitos estão localizados principalmente na porção sul da área em apreço, na forma de serras alinhadas com direção N-S. As rochas apresentam-se muito intemperizadas e foliadas, com coloração amarelada, granulação média e compostas mineralogicamente por quartzo, magnetita, muscovita, fuchcita e grünerita como mineral acessório.

As rochas calciossilicáticas possuem coloração esverdeada, granulação média a fina, apresentam-se foliadas e bastante silicificadas. Microscopicamente são constituídas de: plagioclásio (0-36%), diopsídio (5-62%), tremolita (0-35%), escapolita (0-8%), quartzo (0-7%), calcita (0-5%), e como minerais acessórios, titanita, granada, apatita e opacos.

Os mármore ocorrem predominantemente na porção leste da área. São rochas de coloração branca a marrom-avermelhada, apresentam granulação grossa e textura maciça. No microscópio, o mármore é composto basicamente por carbonato de cálcio (84%) e olivina (forsterita 12%), e como acessórios, flogopita, diopsídio e opacos.

A formação ferrífera bandada ocorre principalmente na porção sudeste da área de estudo. Através da análise petrográfica, a rocha foi classificada como metachert ferruginoso, sendo composta basicamente por quartzo e óxidos de ferro (magnetita, titanomagnetita e grünerita). A ocorrência deste litotipo não foi representada no mapa geológico por Costa *et al.* (1985).

As rochas máficas e ultramáficas foram descritas como blocos e matacões na porção leste da área de estudo. São rochas de coloração verde-escuro, granulação média a grossa, constituídas de horblenda, diopsídio e, como minerais acessórios, allanita e apatita. A sua ocorrência também não foi representada no mapa geológico por Costa *et al.* (1985).

2.2.3 – COMPLEXO GRANITO-GNÁISSICO LAGOA REAL

A principal unidade litológica da área de estudo é o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, que constitui um corpo de dimensões batolíticas, com uma forma alongada de direção N-S e uma área de aproximadamente 2.000 km² (Conceição & Otero 1996).

O Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real ocorre intrudido no Bloco Paramirim e compreende corpos graníticos alcalinos a subalcalinos denominados de Granito São Timóteo, rochas gnáissicas, albititos e leucodioritos.

2.2.3.1 - Granito São Timóteo

Os granitos alcalinos a subalcalinos do tipo São Timóteo ocorrem como extensos corpos de caráter ígneo, distribuídos dentro do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Segundo Costa *et al.* (1985), os granitos passam transicionalmente para os gnaisses, onde feições bruscas de contato não são observadas. Maruéjol *et al.* (1987) com base na análise geoquímica das rochas da área de estudo, sugeriram que os granitóides seriam o protólito das rochas gnáissicas observadas no complexo.

Os granitos variam composicionalmente de termos graníticos a granodioríticos, ocorrendo subordinadamente monzodioritos e quartzo-sienitos (Fernandes *et al.* 1982). Estas rochas possuem uma coloração cinza médio e são caracterizadas pela granulação grossa a porfírica com megacristais de microclina perítica medindo até 8 cm de comprimento.

Mineralogicamente, o granito contém quartzo como agregado granular preenchendo interstícios e fraturas, microclínio, plagioclásio (oligoclásio a albita), e como minerais máficos, biotita (rica em Fe) e ou clinopiroxênio (hedenbergita rica em Fe), substituindo o anfibólio (Fe-hastingsita). Os minerais acessórios observados no granito são: titanita, zircão, apatita, fluorita, ilmenita, magnetita, granada, alanita e epidoto (Costa *et al.* 1985).

Costa *et al.* (1985) identificaram, na porção norte da área, granitos com granulação fina a média, foliados, e sugeriram que estas rochas seriam uma variação textural cataclástica do Granito São Timóteo.

Enclaves de charnoquito são observados no Granito São Timóteo e a sua origem não é muito bem esclarecida. Esta rocha possui coloração cinza-claro, granulação fina a média, textura maciça, e é formada mineralogicamente por mesopertita, quartzo, oligoclásio ou andesina, hiperstênio e biotita. Os minerais acessórios são: apatita e zircão (Costa *et al.* 1985).

2.2.3.2 - Gnaisses

As rochas gnáissicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real ocorrem amplamente distribuídos na porção central da área de estudo. Maruéjol *et al.* (1987) com base na análise geoquímica das rochas, sugeriram que os gnaisses seriam produtos de deformação dos granitos. Evidências da passagem gradual dos granitos para os gnaisses foram enfatizadas por Costa *et al.* (1985) através da caracterização dos estágios intermediários de deformação.

No contexto geral, esta unidade litológica é caracterizada por gnaisses que variam composicionalmente de microclina-gnaisse a plagioclásio-gnaisse, apresentando ainda coloração clara, estrutura foliada e composta mineralogicamente por microclina, plagioclásio sódico (predominantemente oligoclásio), quartzo, anfíbólio (Fe-hastingsita), biotita, opacos e alanita; e como acessórios apatita, magnetita, zircão, titanita, epidoto, fluorita, granada e calcita.

Costa *et al.* (1985) dividiram os gnaisses em termos faciológicos, com base no processo deformacional e na variação geoquímica do feldspato (Tabela 2.1). Esta divisão, atribuída às rochas gnáissicas, encontra-se representada no mapa geológico (Anexo 1).

DEFORMAÇÃO
CRESCENTE

	Estrutura augen. Granulação grossa, com megacristais de feldspato (5cm) ou porfiroblastos de feldspato (10cm), circundados por níveis de minerais máficos e quartzo.	Estrutura ondulada. Granulação média, com eventuais megacristais ou porfiroclastos remanescentes. Olhos estirados formando agregados descontínuos.	Estrutura bandada. Granulação fina a média. Níveis monominerálicos milimétricos.
K Microclina abundante	Anfíbólio-quartzo-plagioclásio-microclina augen gnaisse	Anfíbólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaisse ondulado	Anfíbólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaisse fitado
 Na Albita abundante	Plagioclásio (albita-oligoclásio) augen gnaisse		(Quartzo)-plagioclásio gnaisse fitado

Tabela 2.1 – Faciologia dos gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (Modificado de Costa *et al.* 1985).

Dentre os gnaisses observados na área de estudo, destacam-se os gnaisses quartzosos, que ocorrem na zona de contato entre as rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e o Bloco Paramirim. Os gnaisses quartzosos distinguem-se das demais rochas do complexo devido a maior quantidade de quartzo e epidoto.

As rochas gnáissicas da Jazida Laranjeiras encontram-se cobertas por um solo argilo-arenoso, constituído de quartzo, feldspato potássico (ortoclásio), caulinita e goethita (Rocha 1991).

2.2.3.3 - Albititos

Os albititos da área de estudo são rochas félsicas com teor de albita em torno de 70%, e ocorrem associados aos gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. São considerados economicamente importantes, devido ao fato de encerrarem as mineralizações uraníferas.

Especialmente, os albititos apresentam formas lenticulares com extensão de até 480 metros, e espessura máxima em torno de 30 metros. Com base nos furos de sondagem efetuados na região, foi constatado que os corpos albitíticos ocorrem a uma profundidade máxima de até 850 metros (Ribeiro *et al.* 1984).

Através de estudos petrográficos e geoquímicos realizados por Lobato (1985) e Maruéjol *et al.* (1987) na região de Lagoa Real, três tipos principais de albititos foram reconhecidos:

- i) albititos contendo quartzo,
- ii) albititos contendo piroxênio e granada,
- iii) albititos contendo magnetita e hematita.

Os albititos contendo quartzo (i) apresentam substituição de microclina e plagioclásio por albita pura. Os albititos contendo piroxênio e granada (ii) são caracterizados pela albitização completa de microclina e plagioclásio, lixiviação de quartzo e nova cristalização de albita, clinopiroxênio e granada (andradita). Os albititos contendo magnetita e hematita (iii), também são caracterizados pela albitização de microclina, dissolução de quartzo e formação de magnetita alterando para hematita.

A concentração de urânio ocorre nos albititos (ii) e (iii) na forma de cristais (5 a 25 μm) formados dentro da albita, ou como pequenas acumulações associadas ao zircão, allanita, epidoto, magnetita, granada e piroxênio.

Rocha (1991) analisou os perfis de alteração dos albitos mineralizados da Jazida Laranjeiras e constatou a presença de material laterítico de coloração avermelhada no topo da sequência.

2.2.3.4 - Leucodioritos

Os leucodioritos ocorrem distribuídos no Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real sob a forma de corpos lenticulares. Estas rochas possuem coloração branca, granulação grossa e são constituídas por oligoclásio, quartzo, piroxênio e/ou anfibólio e magnetita (Costa *et al.* 1985).

2.2.4 – ANFIBOLITOS E DIABÁSIOS

Os anfibolitos observados no Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real são provavelmente produtos de alteração metamórfica do diabásio. Estas rochas apresentam foliação concordante com os gnaisses, coloração verde-escuro, granulação média, e são compostas principalmente por cristais ripiformes de plagioclásio (oligoclásio) e horblenda.

Os diabásios ocorrem amplamente distribuídos pela área de estudo, cortando as demais unidades litológicas descritas anteriormente. Apresentam coloração verde-escuro, granulação fina, textura equigranular e são compostos por plagioclásio, augita, horblenda, e minerais acessórios como a magnetita, granada e apatita.

2.2.5 – COBERTURAS CENOZÓICAS

As coberturas cenozóicas compreendem tanto os sedimentos terciários, que cobrem a porção oeste e nordeste da área de estudo, quanto os sedimentos quaternários, localizados ao longo dos leitos dos rios e riachos (aluviões).

Os sedimentos terciários são compostos principalmente por sedimentos detríticos areno-argilosos, depositados em extensos platôs localizados na porção oeste da área, e sobre as rochas do Bloco Paramirim, a nordeste da área.

Os sedimentos quaternários alúvio-coluvionares possuem uma granulometria que varia de seixos à fração argila, predominando, no entanto, os sedimentos mais finos (Costa *et al.* 1985).

2.3 – DADOS GEOCRONOLÓGICOS

Devido a importância geológica do Cráton do São Francisco, diversos pesquisadores realizaram inúmeras datações radiométricas nas suas principais unidades litológicas. Isto teve como objetivo a tentativa de estabelecer uma sequência cronoestratigráfica que esclarecesse a sua evolução geológica.

Quatro ciclos geotectônicos principais foram reconhecidos através dos dados geocronológicos no Cráton do São Francisco: os ciclos Jequié (3.000 Ma - 2.500 Ma), Transamazônico (2.500 Ma - 1.750 Ma), Espinhaço (1.750 Ma - 1.000 Ma) e Brasileiro (1.000 Ma - 450 Ma) (Barbosa *et al.* 1996).

A porção central do Cráton do São Francisco mereceu destaque quanto aos estudos geocronológicos, devido à controvérsia a respeito de: (i) sua evolução tectônica; e (ii) sua cronoestratigrafia e suas relações com o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, que encerra importantes jazidas uraníferas.

As principais datações radiométricas obtidas na região de Lagoa Real são apresentadas de modo esquemático na Tabela 2.2. Analisando esta tabela, foi possível constatar que as rochas situadas na área de estudo apresentam idades que variam desde o Arqueano ao Neoproterozóico.

Os dados geocronológicos obtidos por Jardim de Sá *et al.* (1976) e Cordani (1983), através do método Rb/Sr em rocha total, confirmaram a idade arqueana de 2.860 a 2.600 Ma para as rochas do Bloco Paramirim. Estas idades associam a sua formação ao ciclo Jequié.

As idades mesoproterozóicas obtidas para os granitos do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real são cronocorrelatas com aquelas das rochas vulcânicas ácidas do Grupo Rio dos Remédios (Supergrupo Espinhaço). Estas idades confirmam a contemporaneidade destes dois eventos magmáticos, quando houve a formação da bacia no Cráton do São Francisco, no início do ciclo Espinhaço.

A partir da idade de formação obtida para o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real entre 1746 a 1700 Ma (Fernandes *et al.* 1982, Turpin *et al.* 1988, Pimentel *et al.* 1994), mais três eventos subsequentes foram sugeridos para a área de estudo, 1.520 a 1.400 Ma, 960 a 820 Ma e de 540 a 480 Ma.

Unidade geológica	Rochas	Mineral	Método	Idade	Autores
Bloco Paramirim	gnaiesses	Rocha total	Rb/Sr	2.860 Ma 2.600 Ma	Cordani 1983 Jardim de Sá <i>et al.</i> 1976
Rochas da região de Conceição do Mato Dentro correlatas ao Grupo Rio dos Remédios	Metariolitos	Zircão	U/Pb	1.770 Ma	Brito Neves <i>et al.</i> 1980
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Granito São Timóteo	Rocha total	Rb/Sr	1.700 Ma	Fernandes <i>et al.</i> 1982
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Granito São Timóteo	Zircão	U/Pb	1.725 Ma 1.746 Ma	Turpin <i>et al.</i> 1988 Pimentel <i>et al.</i> 1994
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Gnaiesses	Rocha total	Rb/Sr	1.520 Ma	Cordani <i>et al.</i> 1992
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Albititos	Zircão	U/Pb	1.400 Ma	Turpin <i>et al.</i> 1988
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Albititos	Titanita	U/Pb	960 Ma	Pimentel <i>et al.</i> 1994
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Albititos	Uraninita	U/Pb	820 Ma 540 Ma	Stein <i>et al.</i> 1980
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Albititos	Zircão	U/Pb	480 Ma	Turpin <i>et al.</i> 1988
Bloco Paramirim	Gnaiesses	Micas	K/Ar	500 Ma	Távora <i>et al.</i> 1967
Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real	Gnaiesses	Anfíbólio	K/Ar	500 Ma	Cordani <i>et al.</i> 1992

Tabela 2.2 – Dados geocronológicos das principais unidades litológicas da região de Lagoa Real. Notar que as idades obtidas aparecem concentradas em 3 ciclos geotectônicos, de 2.800 a 2.600 Ma associada ao ciclo Jequié, de 1.770 a 1.400 Ma ao ciclo Espinhaço, e de 960 a 480 Ma ao ciclo Brasileiro.

Turpin *et al.* (1988) sugeriram um evento metamórfico pouco significativo, em torno de 1.400 Ma, ressaltando que a deformação principal das rochas teria ocorrido a 480 Ma, durante o ciclo Brasileiro. Cordani *et al.* (1992), por outro lado, propuseram um evento tectono-metamórfico durante o ciclo Espinhaço, onde as rochas do Complexo Granito-Gnáissico de Lagoa Real teriam sido deformadas a 1.520 Ma. Este evento teria contribuído para a formação das mineralizações uraníferas. Desta maneira a ocorrência de um evento tectono-metamórfico no Cráton São Francisco durante o ciclo Espinhaço permanece como algo ainda a ser questionado.

A influência do ciclo Brasileiro ao longo do Bloco Paramirim e nas rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real é confirmada através das datações radiométricas efetuadas por Távora *et al.* (1967), Stein *et al.* (1980), Cordani *et al.* (1992) e Pimentel *et al.* (1992), que obtiveram idades, em intervalos temporais, de 960 a 820 Ma e 540 a 500 Ma.

Stein *et al.* (1980) e Pimentel *et al.* (1992) atribuíram as idades de 960 a 820 Ma, à formação dos albitos e concentração do urânio no Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, e a idade de 540 Ma para a re-precipitação final do urânio. Cordani *et al.* (1992), com base nos dados de Távora *et al.* (1976) e nas datações efetuadas em anfíbios pelo método K/Ar, sugeriram um evento termal ao longo do Bloco Paramirim.

2.4 – GEOLOGIA ESTRUTURAL

Como ressaltado anteriormente, a área de estudo está localizada na parte central do Cráton São Francisco. Esta porção do cráton apresenta um contexto geológico complexo bem refletido na controvérsia existente em relação aos processos tectônicos que afetaram a região durante o Mesoproterozóico (Ciclo Espinhaço) e o Neoproterozóico (Ciclo Brasileiro).

Jardim de Sá *et al.* (1976), Almeida (1977) e Brito Neves (1980) admitiram que a porção central do cráton teria sido deformada no final do Mesoproterozóico, com importantes reativações de falhas profundas no Neoproterozóico. Caby & Arthaud (1987), Turpin *et al.* (1988), Trompette *et al.* (1992) e Magnavita & Rocha (1996), por outro lado, sugeriram a existência de um único evento deformacional das rochas durante o Neoproterozóico.

Com base no trabalho realizado por Caby & Arthaud (1987) o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real apresenta predominantemente feições estruturais que caracterizam uma intensa zona de cisalhamento dúctil com direção N-S. Esta deformação teria sido causada por

uma falha transcorrente sinistral N-S com convergência oblíqua de E para W. Este tectonismo compressional de E para W estaria associado ao cavalgamento das supracrustais durante o Neoproterozóico, assemelhando-se ao modelo tectônico do tipo Himalaiano.

Um estudo detalhado do arcabouço estrutural do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real foi realizado por Costa *et al.* (1985), que dividiram a área de estudo em 4 domínios estruturais (Domínio I, II, III e IV). Estes domínios foram definidos tomando como base os padrões de direção e o mergulho das foliações principais observadas nas rochas do complexo (Figura 2.4).

O domínio I abrange a porção sudoeste da área, com predominância da foliação com direção NE e mergulhos fortes a moderados para NW. O domínio II ocorre na parte centro-sul do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. As rochas deste domínio, apresentam foliações com direções que variam de N a S, com mergulhos sub-horizontais a horizontais. O domínio III compreende a porção central da área e é caracterizado por foliações com direções predominantemente N-S e mergulhos para E. O domínio IV ocorre na parte norte do Complexo e destaca-se das demais unidades pela foliação das rochas de direção NW mergulhando para NE.

Os alinhamentos dos corpos albitíticos observados na área de estudo são concordantes com a disposição das rochas descritas acima. Segundo Raposo *et al.* (1984), esta disposição estrutural das rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real sugere uma forma helicoidal do arcabouço estrutural de Costa *et al.* (1985).

Lineações minerais cataclásticas foram observadas por Oliveira *et al.* (1985) nos planos das foliações das rochas gnáissicas com direção geral NE-SW (Domínio III), sugerindo zonas de maior enriquecimento de urânio.

Caby & Arthaud (1987) reconheceram lineações minerais pouco preservadas de direção E-W, cortando litologias de baixo ângulo, níveis primários de albititos e rochas associadas, constatando também a ocorrência de dobras fechadas assimétricas com eixos na direção N-S formadas através do tectonismo compressional E-W.

Hasui (1983) analisou as famílias de juntas das rochas gnáissicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e obteve direções em torno de 10° a 40°, 70° a 80°, 120° e 165° a 155°.

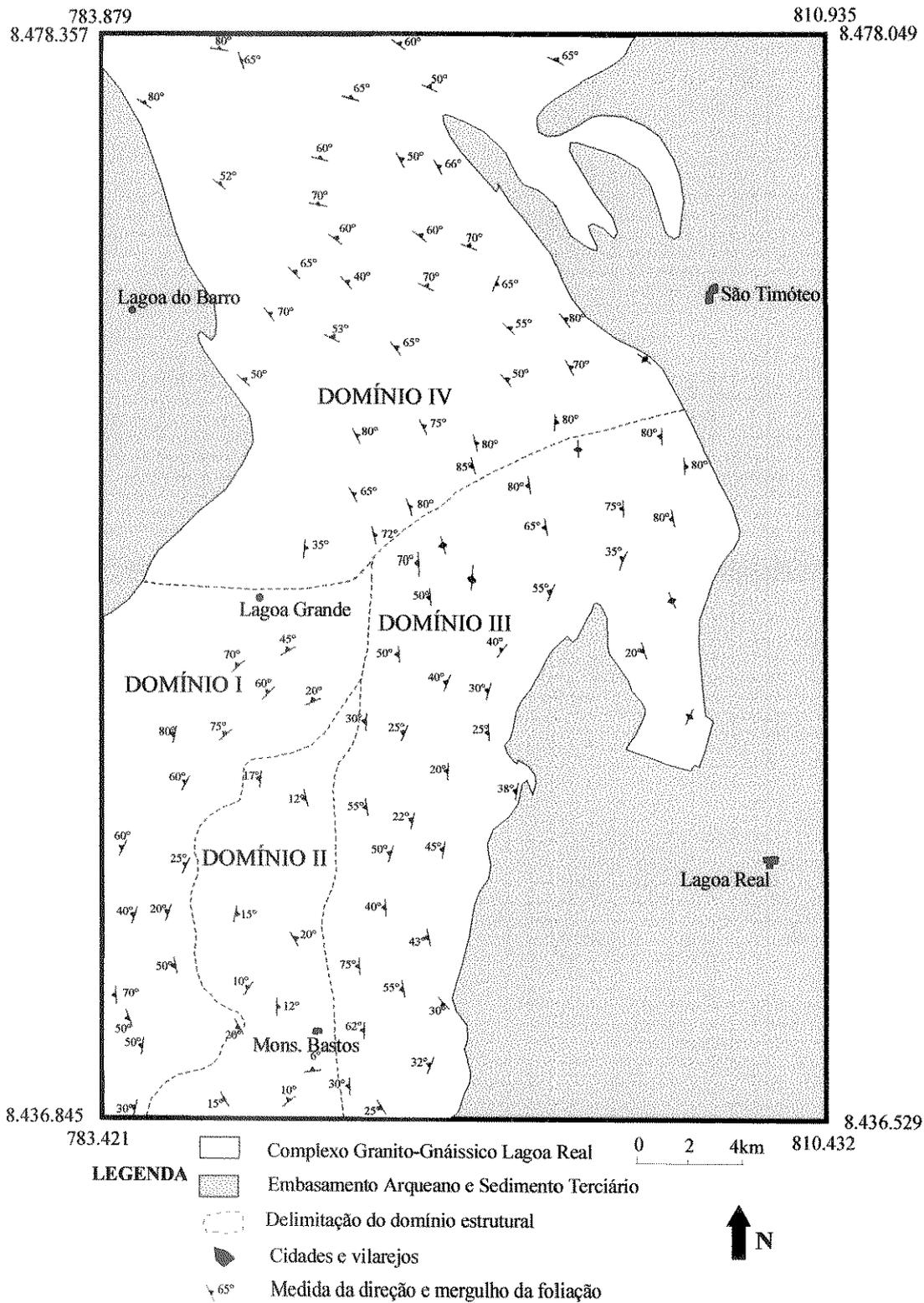


Figura 2.4 – Mapa de domínios estruturais da região de Lagoa Real (Modificado de Costa *et al.* 1985).

2.5 – POTENCIAL ECONÔMICO DA REGIÃO DE LAGOA REAL

O urânio é o bem mineral mais importante do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, apresentando reserva total em torno de 100.000t de U_3O_8 . A mineralização uranífera ocorre principalmente nos albitos contendo piroxênio e granada, e nos albitos contendo magnetita e hematita (Lobato 1985, Maruéjol *et al.* 1987).

O principal mineral de urânio primário observado na área estudada é a uraninita, que ocorre na forma de pequenas acumulações associadas ao piroxênio, granada, magnetita, epidoto, zircão e allanita, e na forma de cristais na matriz albitítica.

O uranofânio destaca-se como mineral secundário de urânio que ocorre distribuído em fraturas (Sobrinho *et al.* 1980) e associado a produtos de alteração, como a caolinita e óxidos e hidróxidos de ferro (Rocha 1991).

Ocorrências menores de talco, ouro, galena e axinita foram observadas por Costa *et al.* (1985) na região de Lagoa Real.

O talco ocorre próximo ao vilarejo de Lagoa Real, na forma de pequenas lentes de 2 a 3 m de largura, encaixadas nos níveis máficos do Bloco Paramirim. A presença de ouro nas amostras de sedimento de corrente foi constatada na Fazenda São Pedro, localizada na porção centro-sul da área de estudo. A galena ocorre na forma disseminada ou preenchendo fraturas nos gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico, situada na porção oeste da área. A axinita $[(Ca, Mn, Fe)_3 Al_2BO_3 (SiO_3) OH]$ foi explorada na região como pedra semi-preciosa no final da década de 70, e a sua ocorrência estava associada às rochas calciossilicáticas da Unidade Vulcanossedimentar Ibitira-Brumado, localizada a leste da área de estudo.

Maruéjol *et al.* (1989) constataram ainda a existência de mineralizações de tório associado aos albitos contendo quartzo.

2.6 – TIPOS DE DEPÓSITOS URANÍFEROS

Uma das primeiras concentrações de urânio na crosta terrestre teria ocorrido durante o Paleoproterozóico, quando a atmosfera terrestre era pobre em oxigênio (ambiente redutor) permitindo a deposição de urânio sob a forma detrítica. As jazidas de urânio da mina de

Witwatersrand na África do Sul e do Lago Elliot no Canadá são depósitos de urânio do tipo conglomerado, formados pelo transporte mecânico da uraninita (Marmont 1978).

A partir do Mesoproterozóico, com o aumento considerável de oxigênio na atmosfera, novos tipos de depósitos de urânio em ambiente sedimentar foram formados. O urânio tornou-se instável como mineral detrítico, transformando-se em óxidos solúveis em contato com soluções aquosas, sendo facilmente transportado em zonas oxidantes e conseqüentemente precipitado em ambiente redutor (Figura 2.5).

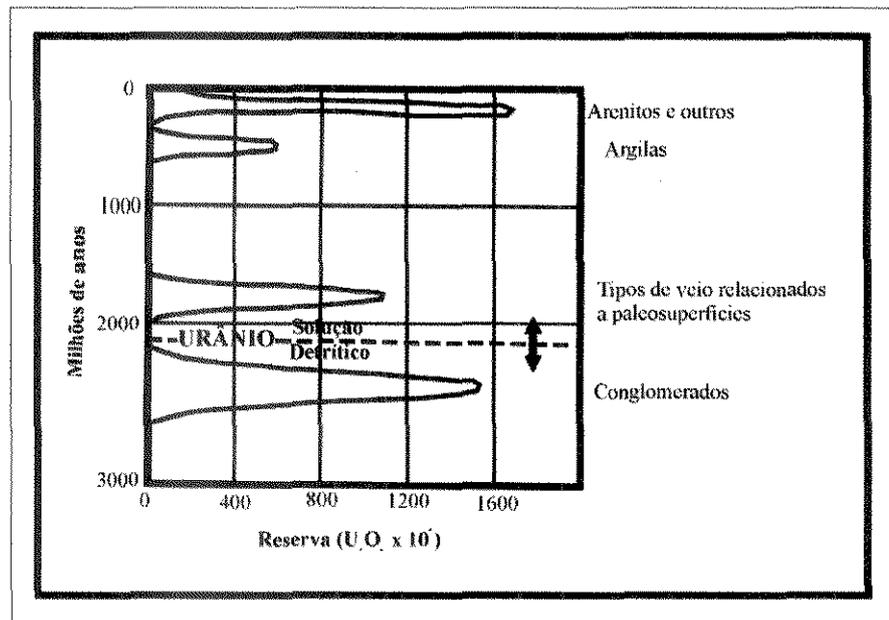


Figura 2.5 – Relação da reserva de urânio observado nos principais depósitos uraníferos com o tempo geológico (Robertson *et al.* 1978, *apud* Marmont 1978).

Em relação às rochas ígneas intrusivas e vulcânicas de idade arqueana a paleoproterozóica, Tisley (1978) observou concentrações uraníferas pouco significativas comparadas aos depósitos sedimentares. Os depósitos uraníferos formados por processos magmáticos tiveram um significado maior a partir da própria evolução do magma, que tornou-se mais diferenciado com a constante reciclagem da crosta oceânica e crustal.

Smirnov (1976), Nash *et al.* (1981), Guilbert & Park Jr. (1985) Lambert *et al.* (1997), McMillan (1996), com base nas características geológicas e metalogenéticas dos depósitos uraníferos observados em diversas parte do mundo, criaram modelos descritivos como: tipo vulcânico, intrusivo, conglomerado, metassomático, de veios, relacionado com discordância (*unconformity-type*), arenitos, calcrete e brecha. Ruzicka (1975) baseando-se no processo de

formação das mineralizações, subdividiu os depósitos de urânio em 2 tipos principais: singenético e epigenético.

A Tabela 2.3 apresenta esquematicamente os tipos de depósitos uraníferos caracterizados pelos autores citados acima. A análise de cada tipo de depósito uranífero foi realizada principalmente com base no processo de formação sugerida por Ruzicka (1975).

Os depósitos de urânio formados por processos singenéticos englobam os tipos vulcânicos, conglomerados e intrusivos.

- **Tipo vulcânico** – Os depósitos de urânio do tipo vulcânico ocorrem em rochas vulcânicas ácidas alojadas ao longo das falhas e zonas de cisalhamento. O urânio geralmente ocorre associado com o molibdênio.
- **Tipo conglomerado** – Este tipo de depósito é caracterizado pela sedimentação da uraninita detrítica junto com os conglomerados em ambiente fluvial.
- **Tipo intrusivo** – As rochas intrusivas como os granitos do tipo I e S, e os alcali-granitos apresentam quantidades consideráveis de urânio, em razão de sua concentração nos estágios finais da diferenciação magmática. A uraninita é o principal mineral de urânio encontrado neste tipo de depósito, ocorrendo sob a forma disseminada ou associado aos minerais acessórios como alanita, titanita, zircão e monazita.

Os tipos de depósitos epigenéticos são caracterizados principalmente pelo comportamento do urânio frente às soluções aquosas em processo de alteração metamórfica à intempérica, com subsequente percolação, mudança de Eh do meio e precipitação do urânio em *traps* litológicos ou estruturais. Os depósitos de urânio formados epigeneticamente são os dos tipos metassomático, de veio, relacionado com discordância, arenitos e calcrete.

- **Tipo metassomático** – Os depósitos do tipo metassomático ocorrem em rochas estruturalmente deformadas e alteradas por processos metassomáticos. Durante este processo de alteração, o urânio é introduzido na rocha junto com fluidos enriquecidos em sódio, potássio e/ou cálcio.
- **Tipo veio** – Neste tipo de depósito o urânio é separado da rocha fonte por fluidos hidrotermais e/ou águas meteóricas, precipitado ao longo das falhas em contato com sulfetos e minerais ferromagnesianos.

Tipo de depósitos	Processo de formação	Rocha hospedeira	Mineral de urânio	Forma	Exemplos
Vulcânico	Singenético	Complexos vulcânicos hipoabissais e vulcanoclásticos	Uraninita	Disseminado e em veios	China, Cazaquistão, México e Rússia
Intrusivo	Singenético	Plutons de granitos e alcali-granitos	Uraninita, uranotorita	Disseminado	Groelandia, Poços de Caldas (Brasil), Rossing (Namíbia)
Conglomerado	Singenético	Conglomerados e arenitos paleoproterozóicos	Uraninita detrítica, uranotorita, branerita	Tabular	Witwatersrand (África do Sul), Lago Elliot (Canadá)
Metassomático	Epigenético	Rochas estruturalmente deformadas	Uraninita	Veios	Espinharas (Brasil), Krivoy Rog (Ucrânia)
Veios	Epigenético	Granitos, gnaisses, xistos, e raramente em rochas sedimentares	Uraninita, coffenita	Veios	Maciço Central (França), Zaire
Arenitos	Epigenético	Arenito fluvial e marinho	Uraninita, coffenita	Tabular	EUA, Nigéria, África do Sul, Cazaquistão
Relacionado com discordância	Epigenético	Contato entre metassedimentos e arenitos	Uraninita, coffenita	Veios Tabular	Bacia Athabasca (Canadá)
Calcrete	Epigenético	Arenito e argila cimentado por carbonato de Ca e Mg	Carnotita	Tabular	Deserto Central da Namíbia, Austrália
Brecha	Epigenético	Complexo de brechas graníticas	Uraninita	Veio	Olympic Dam (Austrália)

Tabela 2.3 - Tipos de depósitos de urânio (Modificado de Nash *et al.* 1981).

- **Tipo arenito** – O urânio é, a princípio, lixiviado da rocha fonte (granitos, tufos, entre outros) pela percolação de água meteórica e transportado na forma de uranila solúvel ao longo de paleocanais permeáveis. A precipitação de urânio ocorre quando a uranila é adsorvida por materiais carbonáceos ou quando entra em contato com a frente de oxi-redução.
- **Tipo relacionado com discordância** – O urânio é geralmente oriundo do embasamento granítico ou metassedimentar. A percolação de fluidos hidrotermais ou de águas meteóricas lixiviam o urânio da rocha fonte, reconcentrando-o ao longo do contato entre metassedimentos ricos em materiais carbonáceos e o arenito.
- **Tipo calcrete** – Os depósitos do tipo calcrete geralmente ocorrem em regiões com clima semi-árido. O urânio lixiviado da rocha fonte pela água meteórica é reconcentrado no calcrete (arenito e argila cimentado por carbonato de Ca e Mg) como carnotita (óxido de potássio urânio vanádio hidratado) devido à intensa evaporação da água.
- **Tipo brecha** – O urânio é reconcentrado em brechas de rochas graníticas através da percolação de fluidos durante a deformação.

Neste trabalho, os depósitos uraníferos de Lagoa Real assemelham-se com o tipo metassomático, principalmente porque: (i) a concentração de urânio ocorre associada aos corpos de albitos formados pelo processo metassomático de caráter sódico e (ii) o albitito enriquecido em urânio ocorre na forma de corpos lenticulares em uma região intensamente deformada.

2.7- METALOGÊNESE DO URÂNIO PARA A ÁREA DE ESTUDO

A metalogênese do urânio para a região de Lagoa Real foi sugerida basicamente por Fyfe (1985), Lobato (1985) e Maruéjol *et al.* (1987).

A proposta de Fyfe (1985) e Lobato (1985) para a gênese dos albitos e as mineralizações de urânio em Lagoa Real baseia-se no modelo tectônico denominado de "tectônica laminar", observado na região dos Apalaches (Estados Unidos).

Com base neste modelo, Fyfe (1985) sugeriu que o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real teria calvalgado sobre os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, causando um metamorfismo regressivo no complexo, e progressivo nos metassedimentos. Com a diferença de

temperatura das supracrustais teria ocorrido aumento de pressão e, conseqüentemente, geração de fluidos que percolaram os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço, lixiviando o urânio da rocha. O fluido enriquecido em urânio também seria rico em sódio, o que caracterizaria o metassomatismo sódico que teria afetado o complexo, através da sua percolação pelas falhas e fraturas geradas pelo cavalgamento, propiciando a formação de albitos enriquecidos em urânio no complexo.

Lobato *et al.* (1985), propuseram ainda que os albitos foram formados sob fácies epidoto-anfibolito e sugeriram que os fluidos subsaturados em NaCl foram gerados em torno de 500°C a 600°C, com pressões moderadas em torno de 4 kbar.

Fuzikawa *et al.* (1988), no entanto, contestaram o modelo proposto por Fyfe (1985) através dos estudos de inclusões fluidas em Lagoa Real, mostrando que os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço apresentavam fluidos com baixo NaCl. A partir destes dados, Fuzikawa *et al.* (1988) concluíram que esta unidade dificilmente seria a responsável pela albitização e mineralização do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

Anteriormente ao trabalho supracitado, Maruéjol *et al.* (1987) já haviam sugerido um novo modelo metalogenético aos depósitos uraníferos de Lagoa Real. Segundo estes mesmos autores, a fonte do urânio seriam os granitoides alcalinos do tipo São Timóteo, de idades mesoproterozóica. Este granito seria constituído de minerais acessórios enriquecidos em urânio. A sua concentração nos corpos albitíticos dever-se-ia a processos metamórficos-metassomáticos ocorridos durante o Neoproterozóico.

Outros pesquisadores como Caby & Arthaud (1987), Fuzikawa *et al.* (1988), Turpin *et al.* (1988), Cordani *et al.* (1992) e Pimentel *et al.* (1994), corroboraram a proposta de Maruéjol *et al.* (1987) sobre a rocha fonte do urânio com base em dados estruturais, geocronológicos e geoquímicos. No entanto, alguns destes autores supracitados apresentaram sugestões questionáveis em relação à idade de formação das mineralizações uraníferas na região de Lagoa Real, como destacado no item 2.3.

Mesmo havendo diversas sugestões a respeito do modelo de depósitos uraníferos na área de estudo, existe um consenso entre os pesquisadores, que consideram o processo metassomático como o principal fator responsável pela concentração de urânio nos albitos de Lagoa Real.

Mas, em relação à fonte do urânio, ainda existem controvérsias devido à sua grande mobilidade junto aos fluidos de alteração e à sua presença nos vários tipos de rochas (ígneas, sedimentares e metamórficas) da litosfera.

2.8 – ESTUDOS GEOFÍSICOS REALIZADOS NA REGIÃO DE LAGOA REAL

Durante a década de 70 foram realizados dois levantamentos aerogeofísicos na região de Lagoa Real. O primeiro levantamento, denominado de Projeto Espinhaço Setentrional, abrangeu uma área total de 64.000 km² na porção central da Bahia. O levantamento foi realizado com direção E-W, com espaçamento das linhas de vôo de 4km e altura média de 150 m. Análises qualitativas dos dados aerogeofísicos foram realizadas pela CNEN em convênio com o DNPM, nas quais foram detectadas anomalias radioativas e magnéticas em escala regional. Como resultado desses levantamentos foram gerados mapas de interpretação dos dados radiométricos e magnéticos na escala 1:250.000 (CPRM, 1995).

Com a constatação das anomalias radioativas na região de São Timóteo através do levantamento aerogeofísico do Projeto Espinhaço Setentrional, a extinta Nuclebrás contratou a empresa Geofoto para a realização de um levantamento aerogeofísico de detalhe, o qual passou a ser denominado de Projeto São Timóteo. Com a obtenção de dados gamaespectrométricos e magnéticos, a Nuclebrás confeccionou mapas de interpretação dos dados aerogeofísicos na escala 1:250.000.

Posteriormente foram realizados estudos geofísicos de detalhe durante o mapeamento do Projeto Lagoa Real (Costa *et al.* 1985), obtendo-se medidas de radiação das rochas com um cintilômetro. As rochas do Bloco Paramirim e do Complexo Ibitira-Brumado apresentaram valores qualitativos baixos, de 20 a 30cps. Os granitos e os gnaisses do Complexo Granito-Gnaíssico Lagoa Real destacaram valores radiométricos entre 60 a 90 cps, atingindo raramente 100 cps.

Ussami & Bott (1989) fizeram um estudo gravimétrico na porção central do Cráton do São Francisco. Mapas com anomalias Bouguer e perfis gravimétricos foram confeccionados em escala regional sobre as rochas do Bloco Paramirim, estendendo sobre o Cinturão de Dobramentos Espinhaço, a oeste, e sobre os granitos do Complexo Granito-Gnaíssico Lagoa

Real, a sul. Através da modelagem gravimétrica bidimensional estes autores sugerem que o corpo granítico possui maior dimensão com a profundidade.

Rocha (1991) realizou levantamentos cintilométricos em trincheiras da Jazida Laranjeiras para analisar o comportamento do urânio e do tório diante da alteração intempérica. Com base nos dados obtidos, Rocha (1991) sugeriu a existência de dois tipos principais de anomalias radiométricas observáveis na superfície: (1) anomalia de platô e (2) anomalia de encosta (Figura 2.6). O segundo tipo, é o mais importante em termos econômicos, pois as mineralizações uraníferas secundárias encontram-se expostas como capas lateríticas devido ao recuo ativo do relevo.

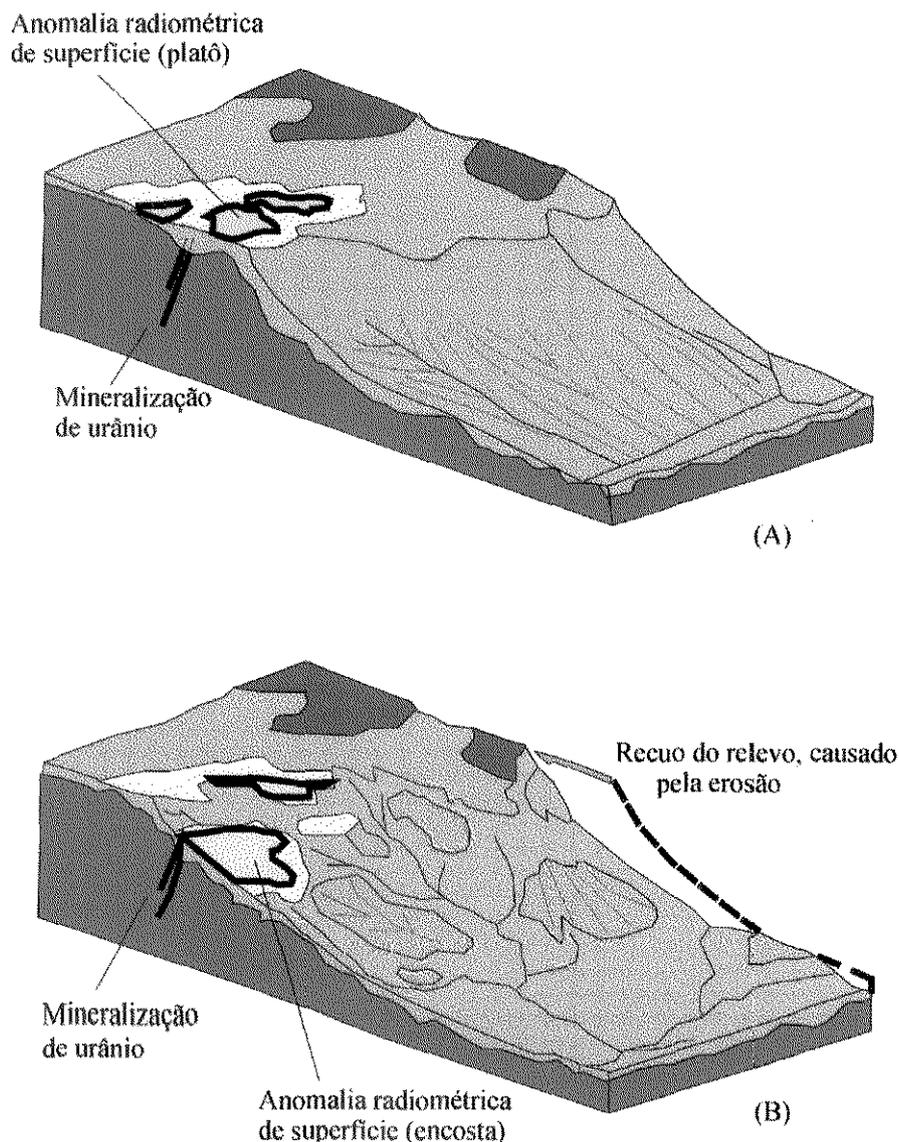


Figura 2.6 – Representação esquemática da superfície da Jazida Laranjeiras com anomalias radiométricas de U e Th. (A) anomalia de platô e (B) anomalia de encosta, em estágio avançado de erosão. (Modificado de Rocha 1991).

CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DIGITAL DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS DO PROJETO SÃO TIMÓTEO

3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta as características gerais dos dados aerogeofísicos do Projeto São Timóteo e a metodologia empregada no processamento digital dos dados radiométricos (K, U, Th, contagem total) e magnéticos. Esta metodologia objetivou destacar principalmente as anomalias radiométricas associadas às entidades geológicas e às mineralizações uraníferas da região de Lagoa Real, bem como às feições estruturais observadas nas imagens magnéticas. Considerações a cerca dos resultados obtidos através da implementação de técnicas de processamento digital são apresentadas no final deste capítulo.

Uma síntese dos aspectos teóricos referente à gamaespectrometria, à magnetometria e ao comportamento geoquímico do K, U e Th nas rochas encontra-se no apêndice deste trabalho.

3.2 – CARACTERÍSTICAS DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados gamaespectrométricos e magnetométricos utilizados neste trabalho fazem parte do levantamento aerogeofísico Projeto São Timóteo, executado pela empresa Geofoto S.A em 1979. Os perfis aerogeofísicos foram realizados na direção E-W, com altura média de vôo estabelecida em 150 m e espaçamento das linhas de vôo de 500 m (CPRM 1995).

As medições dos canais radiométricos de U, Th, K, da contagem total e dos dados magnéticos, encontram-se registradas em fitas magnéticas e analogicamente. A gamaespectrometria apresenta valores qualitativos em contagem por segundo (cps), e a magnetometria compreende valores quantitativos em nanotesla (nT)

O Projeto São Timóteo conta ainda com 150.709 pontos amostrados, abrangendo uma área total de 4.600 km² de levantamento aerogeofísico. Todavia, somente uma área menor com 52.658 pontos, compreendendo a região de Lagoa Real, foi estudada no presente trabalho.

O pré-processamento básico dos dados gamaespectrométricos foi realizado pela própria Geofoto S.A com a remoção do efeito Compton, correção da altura de vôo e do *background* cósmico; quanto aos dados magnéticos foi efetuado a extração do IGRF (*International*

Geomagnetic Reference Field), que consiste na remoção do campo magnético da terra determinado por modelos matemáticos.

3.3 – METODOLOGIA

Este item apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa, para o processamento dos dados aerogeofísicos do Projeto São Timóteo. Com base no trabalho do IAEA – *International Atomic Energy Agency* (1991), o processamento dos dados da área de estudo foi dividido em seis (6) sub-etapas:

- 1) análise estatística;
- 2) conversão dos dados qualitativos originais para “semi-quantitativos”;
- 3) perfis do canal de urânio;
- 4) geração de malhas regulares;
- 5) cálculo do limiar da anomalia; e
- 6) processamento digital das imagens aerogeofísicas.

A descrição detalhada de cada sub-etapa é apresentada a seguir.

3.3.1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Cálculos estatísticos básicos, como a obtenção do valor mínimo, valor máximo, média e desvio padrão, foram realizados sobre os dados aerogeofísicos originais e após cada sub-etapa do processamento. A realização da análise estatística teve como objetivo analisar as características dos dados obtidos pela empresa que efetuou o levantamento, bem como a variação das variáveis aerogeofísicas durante o processamento efetuado.

3.3.2 – CONVERSÃO DOS DADOS QUALITATIVOS PARA “SEMI-QUANTITATIVOS”

A conversão matemática dos dados qualitativos para “semi-quantitativos” permite que as anomalias radiométricas sejam avaliadas em termos de teores aparentes, os quais tornam-se susceptíveis à comparação com os teores de outros depósitos uraníferos.

O termo "semi-quantitativo" empregado neste item faz referência aos valores quantitativos obtidos por equações matemáticas, cuja confirmação com os dados de campo não foram realizadas.

A conversão dos dados da área em apreço foi baseada na altura de vôo (150 m) e no cristal do gamaespectrômetro (1024 cm^3) utilizado no levantamento aerogeofísico do Projeto São Timóteo. As variáveis obtidas para a conversão do K, U e Th foram de 22.9, 2.6 e 1.7, respectivamente. Estes três valores transformaram os dados qualitativos de U e Th em ppm e o K em porcentagem (IAEA 1991; Amaral & Pascholati 1998).

3.3.3 – CONFECÇÃO DOS PERFIS RADIOMÉTRICOS

A representação dos dados aerogeofísicos sob a forma de perfis é considerada a maneira mais simples e direta de obter informações pontuais das anomalias radiométricas na superfície. Darnley (1972, *apud* Killen 1979) destaca a importância dos perfis do canal de U para avaliar o comportamento do elemento radioativo na superfície e para delimitar as unidades litológicas distintas.

Com base no trabalho de Darnley (1972), foram realizados perfis radiométricos do urânio na área de estudo, utilizando os dados originais do Projeto São Timóteo. Para tal fim, foram selecionadas 3 linhas de vôo com direção E-W, que seccionam os corpos albitíticos com características estruturais distintas. Após a seleção, os dados originais foram convertidos em valores "semi-quantitativos" para a sua representação no perfil radiométrico.

3.3.4 – GERAÇÃO DE MALHAS REGULARES

Os dados aerogeofísicos representam dados pontuais ordenados ao longo das linhas de vôo efetuadas pela aeronave. Para representar os dados na forma de mapas de contorno, são aplicados cálculos matemáticos que efetuam a interpolação das variáveis aerogeofísicas e ordenam as informações resultantes em malhas regulares.

Existem diversos tipos de interpoladores baseados em equações distintas e, conseqüentemente, as imagens geradas mostram diferenças sutis quanto a forma do contorno.

Dentre os interpoladores existentes, os mais conhecidos são os métodos de mínima curvatura, krigagem e inverso do quadrado da distância (Smith & Wessel 1990; Cressie 1990).

No presente trabalho, utilizou-se o método de mínima curvatura, devido à rapidez na interpolação de grande número de dados e à geração de contornos suavizados. Uma das desvantagens na utilização deste método é a geração de variáveis negativas, geradas a partir da interpolação efetuada nas bordas das imagens.

Outro fator relevante quanto ao processo de interpolação dos dados está relacionado com o tamanho das células da malha regular. As células representam na realidade o posicionamento relativo dos dados originais e pontuais. Para minimizar a variação dos dados pontuais na geração de uma malha regular, Vasconcellos *et al.* (1994) sugerem células de 1/4 a 1/8 do valor do espaçamento das linhas de vôo.

Desta forma, foram geradas células de 125 m que correspondem a 1/4 do valor do espaçamento das linhas de vôo efetuado pelo levantamento aerogeofísico do Projeto São Timóteo. Com a interpolação, foram criadas 98.553 células com informações aerogeofísicas representativas da área de estudo.

3.3.5 – CÁLCULO DO LIMIAR DA ANOMALIA RADIOMÉTRICA

A distinção de áreas anômalas daquelas não-anômalas foi realizada na área de estudo, com base nos dados radiométricos dos canais de K, U, Th e da contagem total (CT). Os dados radiométricos foram processados estatisticamente com a aplicação da equação matemática sugerida por Solovov (1987)*, para a obtenção do limiar da anomalia dos quatro canais. Segundo este mesmo autor, a concentração de um elemento na superfície terrestre é considerada anômala quando o seu teor é maior que o limiar da anomalia (LA).

$$* LA = m + 3.s$$

LA = Limiar da anomalia

m = média

s = Desvio padrão

A partir do LA e do teor médio de K, U, Th e da contagem total, foram estabelecidos três intervalos específicos de teores de cada canal radiométrico. Os três intervalos específicos foram calculados para distinguir melhor a distribuição de áreas anômalas daquelas não-anômalas nas imagens aerogeofísicas. O primeiro intervalo abrangeu teores abaixo da média; o segundo, teores entre a média e o LA; e o terceiro, teores acima do Limiar da Anomalia

3.3.6 – REALCE DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

Dentre as técnicas de processamento digital implementadas, destacam-se aquelas que realçaram de forma mais expressiva as informações radiométricas e magnéticas da área de estudo:

(i) Canais radiométricos K, U e Th em pseudocor com aumento de contraste do tipo “*level slice transform*”. Este aumento de contraste, consiste em atribuir ao histograma da imagem analisada intervalos específicos representados por cores distintas. O intervalo estabelecido para cada canal radiométrico (K, U e Th) foi baseado no cálculo do limiar da anomalia, descrito no item anterior;

(ii) Representação da contagem total em pseudocor, para otimizar a visualização geral da distribuição dos dados através das cores representativas do espectro, facilitando desta forma a discriminação de áreas anômalas;

(iii) Representação dos canais K, U e Th em RGB, para realçar a distribuição simultânea dos três radioelementos na região;

(iv) Variáveis magnéticas representadas em pseudocor, para melhorar a visualização das anomalias magnéticas positivas e negativas da área de estudo. De forma a complementar a interpretação das imagens magnéticas, foi utilizado o filtro direcional E-W para destacar as características estruturais da área de estudo. As principais feições estruturais observadas nas imagens magnéticas foram traçadas na forma vetorial para a geração do diagrama de rosetas.

3.4 – RESULTADOS

3.4.1 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS AEROGEOFÍSICAS

Os dados estatísticos das variáveis gamaespectrométricas e magnetométricas originais do Projeto São Timóteo são apresentados de modo esquemático na Tabela 3.1. Com a conversão dos canais K, U e Th para teores aparentes (Tabela 3.2), foi constatado que o teor médio de urânio na região é relativamente alto em relação ao teor médio padrão das rochas graníticas (consultar o apêndice deste trabalho).

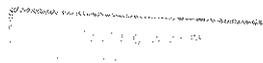
Informações estatísticas dos dados interpolados mostram que os valores mínimos apresentam variáveis negativas geradas pela implementação do método de mínima curvatura (Tabela 3.3). Comparando as Tabelas 3.2 e 3.3, nota-se que a média dos dados convertidos para teores e a média dos dados interpolados são aproximados. O mesmo ocorre com os dados magnéticos, onde foi observada uma pequena variação entre o valor médio original e o valor médio interpolado. Neste caso, o método de mínima curvatura empregado para a interpolação dos dados aerogeofísicos da área em apreço foi considerado satisfatório.

	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio Padrão
K (cps)	0	199	45,168	32,320
U (cps)	0	196	22,618	13,686
Th (cps)	0	205	39,681	24,735
CT (cps)	1	1791	467,719	239,851
Mag (nT)	-381,329	226,610	43,107	53,478

Tabela 3.1 – Dados gamaespectrométricos e magnetométricos originais da área de estudo.

	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio Padrão
K (%)	0	8,689	1,972	1,411
U (ppm)	0	75,385	8,699	5,264
Th (ppm)	0	120,588	23,341	14,549

Tabela 3.2- Dados estatísticos dos canais de K, U, Th em teores aparentes.



	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio Padrão
K (%)	-0,095	7,555	1,946	1,301
U (ppm)	-0,203	58,462	8,650	4,579
Th (ppm)	0,018	111,457	23,261	14,052
CT (cps)	5,081	1736,12	464,119	234,237
Mag (nT)	-223,758	225,516	44,034	53,616

Tabela 3.3 - Dados estatísticos das variáveis aerogeofísicas obtidos após a interpolação.

A Tabela 3.4 destaca o limiar da anomalia de cada canal radiométrico da área de estudo. Com base no trabalho de Solovov (1987), as áreas com teores acima do limiar da anomalia foram consideradas anômalas para a região de Lagoa Real. A discriminação de áreas anômalas daquelas não-anômalas foram realizadas com base nos intervalos de teores estabelecidos para cada canal (Tabela 3.5).

	Limiar da Anomalia (LA)
K	5,849 %
U	22,387 ppm
Th	65,417 ppm
CT	1.166,83 cps

Tabela 3.4 – Valores do limiar da anomalia (LA) dos canais de K, U, Th e contagem total.

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	CT (cps)
Teores abaixo da média	$K < 1,9$	$U < 8,6$	$Th < 23,3$	$CT < 464$
Teores entre a média e o LA	$1,9 < K < 5,8$	$8,6 < U < 22,4$	$23,3 < Th < 65,4$	$464 < CT < 1.166,8$
Teores anômalos	$K > 5,8$	$U > 22,4$	$Th > 65,4$	$CT > 1.166,8$

Tabela 3.5– Intervalos sugeridos para a distinção entre áreas anômalas e não-anômalas.

3.4.2 – INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS RADIOMÉTRICOS DE URÂNIO

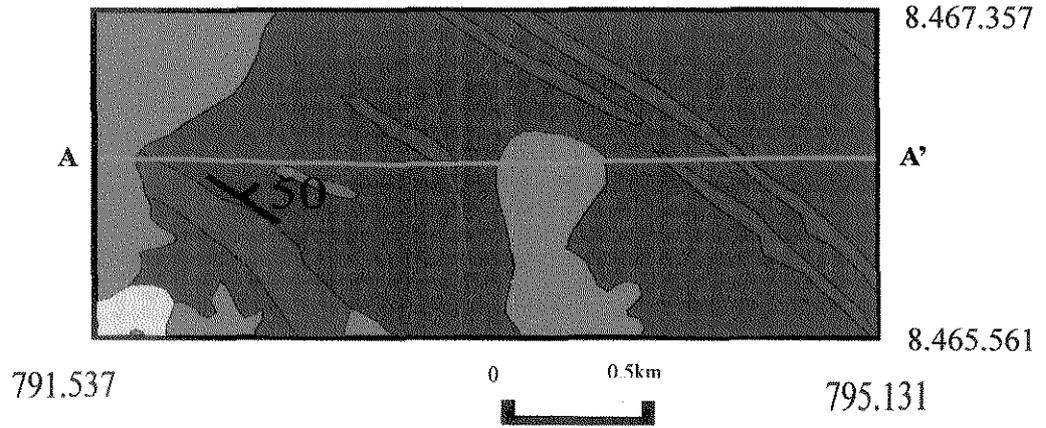
A análise dos 3 perfis radiométricos do canal de urânio (A-A', B-B', C-C') foi efetuada com base na correlação entre o mapa geológico da região de Lagoa Real e as anomalias radioativas.

O perfil A-A' observado na Figura 3.1 (I) foi realizado sobre anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaiss fitado (azul escuro), granitos alcalinos (vermelho), albitos (magenta) e sedimentos terciários (laranja). A relação pontual dos corpos albitíticos com o comportamento radiométrico do urânio em torno do *background* de 10 ppm não foi observada (II). A anomalia de urânio, com teor em torno de 48 ppm, também não apresenta uma correlação direta com os corpos albitíticos observados na Janela 1.

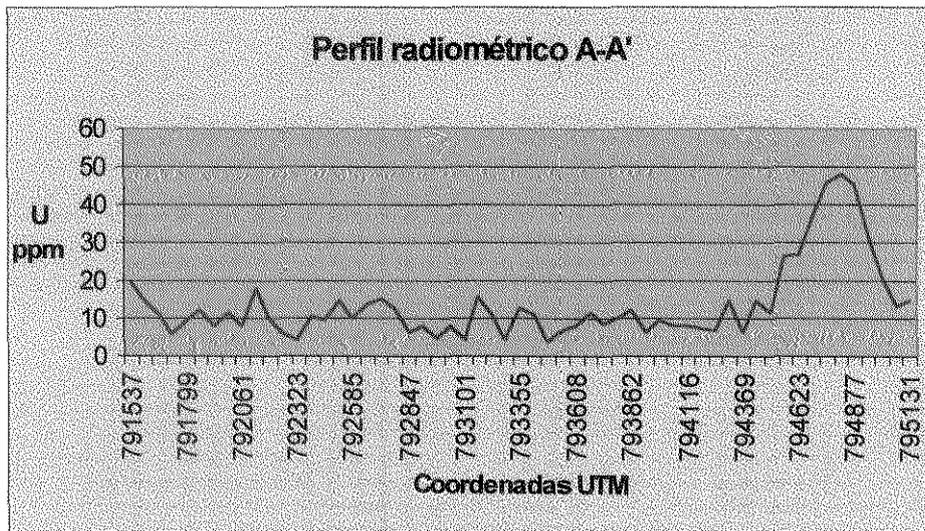
A Figura 3.2 (III) mostra a linha de vôo B-B' seccionando as rochas gnaissicas com texturas que variam de augen gnaiss (cinza) ao anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaiss fitado (azul claro), granitos (vermelho), albitos (magenta) e sedimentos terciários (laranja). O teor de urânio ao longo do perfil radiométrico B-B' (IV) é geralmente maior que a média ($U > 8,699$ ppm). Neste perfil radiométrico foi observada a relação direta dos corpos albitíticos localizados na parte central da janela 2 com o teor anômalo de 30 ppm. Os demais corpos albitíticos não apresentam uma correlação direta com as anomalias do perfil radiométrico.

A Figura 3.3 (V) compreende a Janela 3 do mapa geológico (Anexo 1), na qual é destacado o perfil radiométrico realizado sobre as rochas gnaissicas (azul escuro a azul claro) e os albitos (magenta). O perfil C-C' (VI) mostra três patamares radiométricos. O primeiro, com teor de urânio em torno de 23 ppm, ocorre principalmente na parte esquerda do perfil. O segundo patamar compreende teores de urânio em torno de 17 ppm e o último em torno de 11 ppm, os quais destacam valores acima da média ($U > 8,699$ ppm). A relação pontual das anomalias com a localização dos corpos albitíticos é relativamente concordante.

Os perfis radiométricos (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) indicaram que não existe uma boa correlação pontual entre os dados do canal radiométrico de urânio e os corpos albitíticos. Este fato pode ser atribuído às características climáticas e geomorfológicas da região, que promoveram a redistribuição do urânio secundário na superfície e ao longo drenagens.

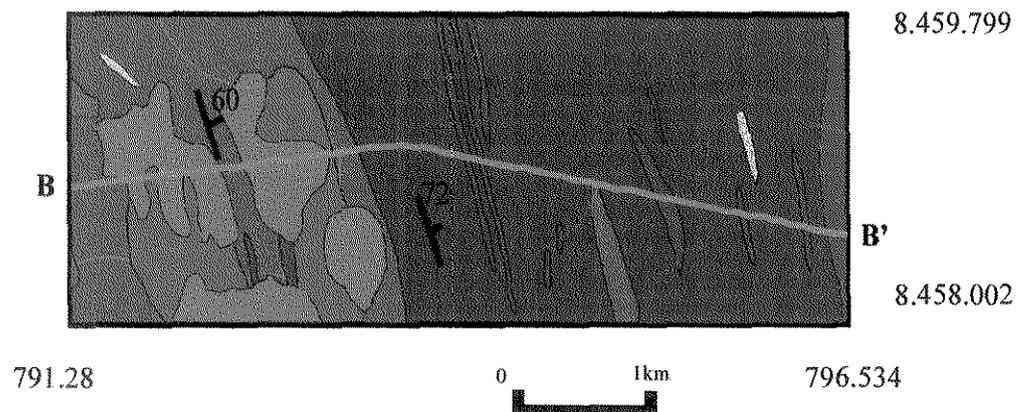


(I)

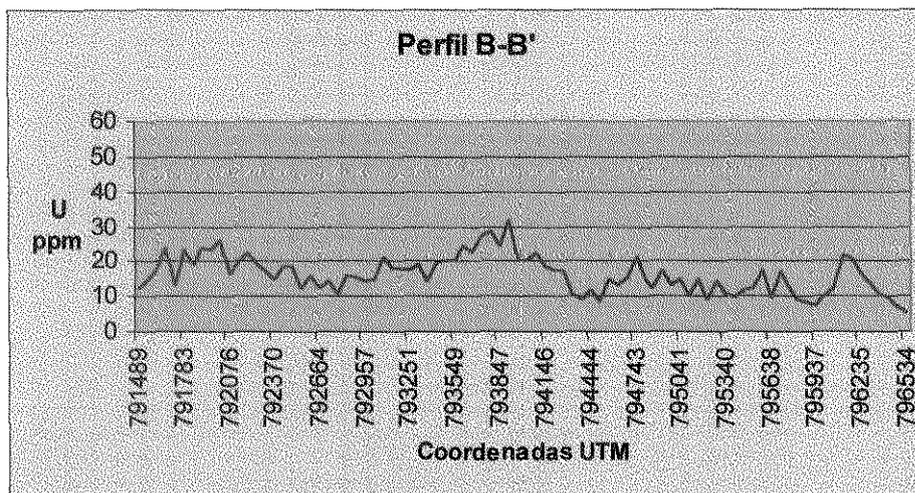


(II)

Figura 3.1 - (I) Localização da linha de vôo representada em verde sobre a Janela 1 do mapa geológico e (II) perfil radiométrico do canal de urânio A-A'.

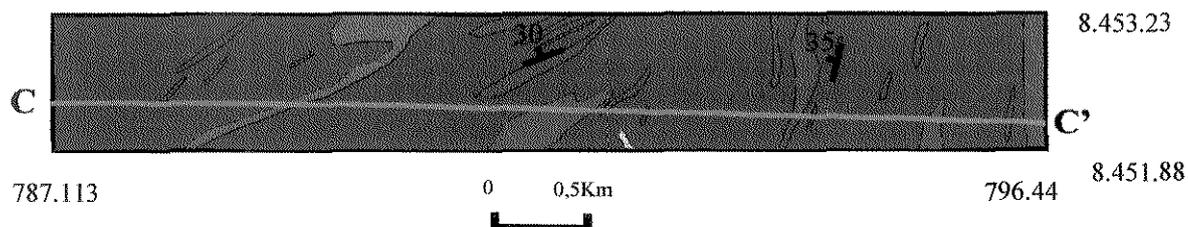


(III)

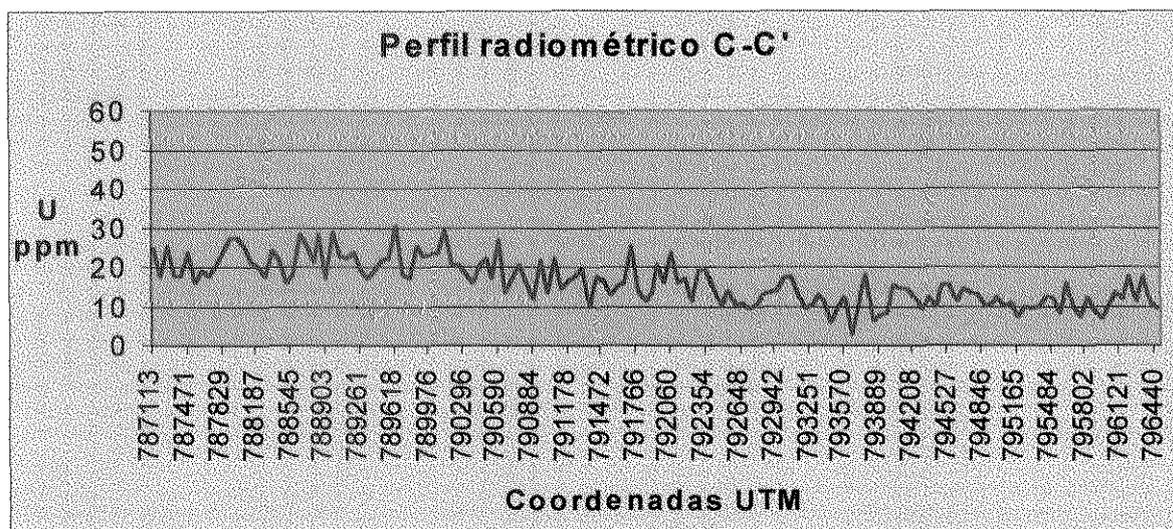


(IV)

Figura 3.2 – (III) Janela 2 do mapa geológico com a linha de vôo representada em verde e (IV) perfil radiométrico do urânio B-B'.



(V)



(VI)

Figura 3.3 – (V) Janela 3 extraída do mapa geológico com a localização da linha de voo em verde e (VI) perfil radiométrico C-C'.

3.4.3 – INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS AEROGEOFÍSICAS

A interpretação das imagens aerogeofísicas foi realizada através da sobreposição do mapa geológico impresso na transparência (Anexo 2). Esta sobreposição permitiu associar as principais unidades litológicas da área de estudo com a distribuição espacial dos dados aerogeofísicos.

Com a finalidade de avaliar o comportamento dos canais radiométricos K, U, Th e contagem total em superfície, foi realizada a sobreposição do mapa de drenagens na forma de transparência (Anexo 3) sobre as imagens aerogeofísicas.

As áreas anômalas observadas nas imagens aerogeofísicas foram destacadas com contorno preto e indicadas através de caracteres numéricos (1, 2, 3,...), e as regiões com médio a baixo teor anômalo foram contornadas em preto, mas indicadas com caracteres alfabéticos (A, B, C,...).

3.4.3.1 -Potássio

A Figura 3.4 mostra a imagem do potássio em pseudocor, com aumento de contraste do tipo "level slice transform". Este canal apresenta resultados expressivos, com teores de potássio acima da média ($1,9 \% < K < 5,8 \%$) delimitando claramente o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (A). A constatação da ampla distribuição de potássio nesta unidade litológica confirma a característica geoquímica dos granitos alcalinos a sub-alcalinos do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real caracterizado por Marúejol *et al.* (1987).

Os sedimentos quaternários (B) localizados na porção oriental do mapa, encontram-se destacados com teores de potássio entre a média e o valor anômalo ($1,9 \% < K < 5,8 \%$), sugerindo uma deposição do tipo aluvionar, onde os sedimentos seriam oriundos do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

Os sedimentos terciários (C) e o embasamento cristalino representado pelo Bloco Paramirim (D) apresentam teores de potássio abaixo da média ($< 1,9 \%$).

Porções menores com teores anômalos de potássio ($K > 5,8 \%$) estão geralmente associadas aos corpos gnáissicos (anomalia 1) que afloram na área de estudo.

Figura 3.4 – Imagem do canal de potássio em pseudocor com o aumento de contraste do tipo “*level slice*”. Legenda: **1**, anomalia de potássio ($K > 5,8 \%$); **A** e **B**, áreas com teores de K acima da média ($1,9 < K < 5,8 \%$); **C** e **D**, áreas com teores de K abaixo da média ($K < 1,9 \%$).

3.4.3.2 - Urânio

A imagem do canal de urânio em pseudocor (Figura 3.5) com o contraste “*level slice transform*” apresenta 3 domínios com teores de urânio divididos em intervalos específicos, os quais são diferenciados pelas cores azul, *cyan* e vermelho.

As áreas com teores anômalos de urânio ($U > 22,4$ ppm) são representadas pela cor vermelha, e ocorrem distribuídas pelo Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. A mais extensa anomalia de urânio na região está localizada na porção oeste (anomalia 1) do complexo, associada ao anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina-gnaiss menos deformado, mapeado por Costa *et al.* (1985). A estruturação geral desta área anômala compreende unidades litológicas alinhadas com direção preferencial NE-SW destacadas por Oliveira *et al.* (1985) como zonas propícias para a concentração de urânio. Esta área corresponde à superfície de encosta, com intensa frente erosiva. O urânio ocorre disperso principalmente ao longo do Córrego Pé do Morro, Córrego Barbeiro, Córrego do Espigão e do seus afluentes.

A anomalia 2, localizada no Alto Platô Ocidental da área de estudo, corresponde à ocorrência do corpo granítico de granulação fina, que aflora em meio aos sedimentos terciários. Segundo a definição de superfície radiométrica sugerida por Rocha (1991), esta anomalia é tipicamente uma anomalia de platô que apresenta, *in situ*, a localização do corpo mineralizado.

As anomalias 3, 4 e 5 associam-se ao *trend* estrutural de direção geral NW-SE, sendo que as anomalias 3 e 4 ocorrem próximas aos corpos lenticulares de albititos. As anomalias 6, 7 e 8 estão localizadas ao longo do *trend* estrutural N-S e associam-se predominantemente aos corpos lenticulares de albititos. A superfície radiométrica representativa para as anomalias 3, 4, 5, 6, 7 e 8 é do tipo anomalia de encosta onde, segundo Rocha (1991), são encontradas a maior parte das concentrações uraníferas na região.

A ocorrência de urânio com teores entre a média e o valor anômalo ($8,6 \text{ ppm} < U < 22,4$ ppm) é destacada pela cor *cyan* e ocorre associada às rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. A estruturação das rochas em forma de arco é muito bem notada, sugerindo uma compartimentação lito-estrutural da área de estudo. A ocorrência de urânio na porção nordeste (A) apresenta direção NW, e na porção sudoeste (B) direção NE caracterizando uma estrutura deformada e arqueada descrita por Raposo *et al.* (1984).

Figura 3.5 – Imagem do urânio em pseudocor com o aumento de contraste do tipo “*level slice*”.
Legenda: **1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7**, áreas com teores elevados de urânio ($U > 22,4$ ppm); **A, B e C**, áreas com teores de urânio acima da média ($8,6 < U < 22,4$ ppm); e **D e E**, áreas com teores de urânio abaixo da média ($U < 8,6$ ppm).

Os sedimentos quaternários (C), localizados na porção sudeste, apresentam teores radioativos acima da média (8,6 ppm <math>U < 22,4 \text{ ppm}</math>). Estas áreas indicam a grande influência das drenagens no carreamento e na deposição dos sedimentos com teores de urânio relativamente altos para o Baixo Platô Oriental.

O embasamento cristalino representado pelo Bloco Paramirim (D), e os sedimentos terciários (E) da porção nordeste da área de estudo apresentam teores de urânio abaixo da média ($U < 8,6 \text{ ppm}$).

3.4.3.3 - Tório

A Figura 3.6 mostra a imagem do canal de tório em pseudocor com a implementação do contraste “*level slice transform*”. Nesta figura são destacados 3 domínios que correspondem aos intervalos dos teores de tório estabelecidos para a área de estudo.

A localização das zonas anômalas de tório mostra uma certa similaridade com as áreas anômalas de urânio. Entretanto, o tório apresenta menor dispersão do radioelemento na superfície e, conseqüentemente, maior concentração na área de estudo. Anomalias de tório na área de estudo estão associadas principalmente às unidades litológicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

As áreas com anomalias de tório com teores acima de 65,4 ppm são destacadas pela cor vermelha e abrangem principalmente a porção oeste da área de estudo. A área anômala mais extensa (1) ocorre relacionada aos gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, disposta ao longo da estruturação geral de direção NE-SW e ao longo dos Córregos Pé do Morro, Córrego Barbeiro, Córrego do Espigão e seus afluentes

A ocorrência de tório também se estende para oeste no alto platô, representada pelas anomalias 2 e 3, sugerindo a continuidade das rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real sob os sedimentos cenozóicos. Destaca-se a anomalia 4, correspondente ao corpo granítico do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, que aflora nos sedimentos terciários do Alto Platô Ocidental. Esta anomalia 4 estaria associada à anomalia do tipo platô (Rocha 1991), o que caracteriza *in situ* a ocorrência do corpo mineralizado. Nota-se que a extensão da anomalia 4 excede ao tamanho do corpo granítico observado no mapa geológico, sugerindo uma dimensão maior da rocha granítica em subsuperfície.

Figura 3.6 – Imagem do canal de tório em pseudocor com aumento de contraste do tipo “*level slice*”. Legenda: **1, 2, 3 e 4**, áreas com teores anômalos de tório ($\text{Th} > 65,4$ ppm); **A e B**, áreas com teores de tório acima da média ($23,3 < \text{Th} < 65,4$ ppm); **C, D e E**, áreas com teores de tório abaixo da média ($\text{Th} < 23,3$ ppm).

As áreas representadas em *cyan* correspondem à ocorrência de tório com teores entre a média e o valor anômalo ($23,3 \text{ ppm} < \text{Th} < 65,4 \text{ ppm}$). Este intervalo ocorre em quase toda a área do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Com base no mapa geológico não foi observada uma correlação direta dos litotipos com a concentração média de tório na área de estudo. Porém, foi observada uma compartimentação estrutural arqueada no Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (A), estudada anteriormente por Raposo *et al.* (1984). Os sedimentos quaternários (B) ressaltados pela cor *cyan* evidenciam uma sedimentação do tipo aluvionar, com a deposição de sedimentos com teores de tório acima da média.

Teores de tório abaixo da média ($\text{Th} < 23,3 \text{ ppm}$) ocorrem associados às rochas do embasamento cristalino (C) do Bloco Paramirim localizadas na porção sudeste da área e aos sedimentos terciários (D) da porção nordeste. Uma extensa faixa (E) com teores de tório abaixo da média, de direção NW-SE, foi observada na porção centro-norte do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

3.4.3.4 - Contagem Total em Pseudocor

A Figura 3.7 apresenta a contagem total em pseudocor, na qual são observadas elevadas contagens ($\text{CT} > 1.166,8 \text{ cps}$) localizadas nas áreas anômalas 1 e 2. Estas áreas localizam-se em regiões similares àquelas onde há ocorrência de urânio e tório das figuras anteriores. Geralmente a contagem total é utilizada para delimitar as unidades litológicas, mas neste caso, os altos conteúdos de urânio e tório mascararam as informações do canal de potássio.

As regiões com média a baixa contagem (A) sugerem uma variação geoquímica das rochas quanto aos valores qualitativos de urânio e tório. Esta figura destaca também na porção nordeste da área a disposição arqueada das unidades litológicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (B).

A ocorrência de uma faixa anômala (C) com direção E-W, de aproximadamente 4km de largura, na parte sul da área de estudo, pode estar relacionada com a influência do gás radônio oriundo do decaimento radioativo do urânio, ou associada ao ruído adquirido durante a realização do levantamento aerogeofísico.

Figura 3.7 – Imagem gerada a partir da contagem total em pseudocor. Legenda: **1** e **2**, áreas com alta contagem; **A**, **B** e **D**, áreas com contagem total acima da média; **C**, faixa anômala gerada pelo gás radônio ou ruído obtido durante o levantamento aerogeofísico; **E**, **F** e **G**, áreas com baixa contagem total.

Outra característica a ser mencionada é a das regiões com contagem total acima da média associadas aos sedimentos quaternários (D), localizados na porção sudeste da área de estudo. Esta ocorrência confirma mais uma vez que a sedimentação quaternária ao longo das drenagens no baixo platô é oriundo do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

Baixas contagens são observadas no embasamento cristalino do Bloco Paramirim (E) e nos sedimentos terciários da porção nordeste (F) e noroeste (G) da área estudada.

3.4.3.5 - Canais de K, U e Th em RGB

A Figura 3.8 mostra os canais radiométricos K, U e Th em RGB com aumento de contraste do tipo linear. A junção das três cores primárias gera a coloração branca, indicando a ocorrência dos três radioelementos no mesmo local. Estas áreas estão localizadas principalmente sobre o anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina augen gnaiss, os granitos alcalinos a sub-alcalinos do tipo São Timóteo e ao longo dos sedimentos quaternários.

Os canais radiométricos U e Th representados pela cor *cyan* ocorrem principalmente na porção oeste da área, confirmando a similaridade do comportamento geoquímico desses dois radioelementos em relação as rochas granito-gnáissicas.

A ocorrência de urânio com o potássio é muito bem discriminada na forma de pequenos corpos arredondados (1, 2, 3, 4 e 5), localizados na porção central da área de estudo. Estes corpos estão associados à localização das principais jazidas de urânio mapeadas por Oliveira *et al.* (1985) na região de Lagoa Real. O tório, por sua vez, não ocorre associado a estas áreas.

A ausência da contribuição dos três radioelementos é representada pela cor preta, que ocorre principalmente na parte oriental da área, associada a rochas do Bloco Paramirim e aos sedimentos terciários.

Figura 3.8 – Imagem em RGB para os canais radiométricos de K, U e Th. Legenda: 1, 2, 3, 4 e 5, ocorrência do K e U associada às principais jazidas uraníferas mapeadas na região de Lagoa Real.

3.4.3.6 - Imagem Magnética

A Figura 3.9 mostra a imagem magnética residual em pseudocor, processada com o filtro direcional E-W. Esta imagem mostra que a área possui um arcabouço estrutural complexo, com as unidades litológicas intensamente deformadas e fraturadas. Com base nas feições estruturais e no comportamento magnético das rochas, foram traçados lineamentos na forma vetorial para a geração do diagrama de rosetas (Figura 3.10). Analisando este diagrama, foi possível distinguir 5 feições estruturais mais marcantes na área de estudo.

Na porção noroeste da área de estudo destaca-se uma falha de caráter rúptil com direção em torno de 60° a 70° (1). Esta falha separa visivelmente dois domínios magnéticos distintos: o alto estrutural em vermelho, a noroeste, e o baixo estrutural em azul, a sudeste. A ocorrência desta feição estrutural com direção preferencial 70° é observada também em toda a área de estudo.

Os lineamentos com direção 120° a 140° são muito bem destacados nesta figura. A sua principal ocorrência está situada na parte sudoeste da área de estudo, como uma falha de caráter rúptil (2) separando dois domínios magnéticos. A nordeste da falha destaca-se o alto estrutural em amarelo-esverdeado, e a sudoeste o baixo estrutural em azul.

No extremo sudoeste da área de estudo são destacados lineamentos magnéticos com direção 170° (3). Com base no mapa geológico confeccionado por Costa *et al.* (1985), não foi constatada nenhuma evidência tectônica representativa nesta porção da área de estudo.

Na parte central da área ocorrem lineamentos magnéticos com direção preferencial 0° (4), associados provavelmente à disposição das rochas gnáissicas do domínio estrutural III (ver Figura 2.4).

Lineamentos magnéticos com *trend* direcional 20° a 40° (5) são observados de forma marcante nas rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e podem estar associadas à foliação das rochas do domínio IV (ver Figura 2.4) e à família de juntas destacadas por Hasui (1983).

Figura 3.9 – Imagem com o campo magnético residual em pseudocor com filtro direcional E-W.
Legenda: 1, 2, 3, 4 e 5, lineamentos.

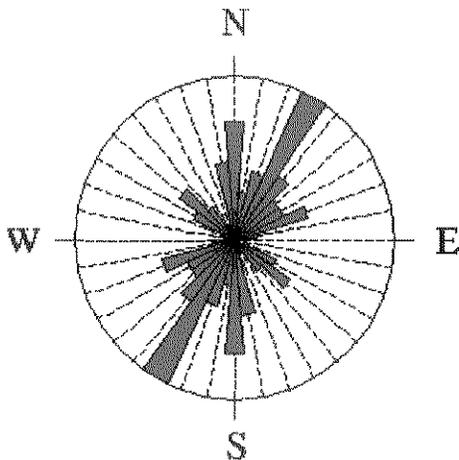


Figura 3.10 – Diagrama de rosetas das feições estruturais observadas na imagem magnética.

3.5 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Os dados aerogeofísicos do Projeto São Timóteo utilizados neste trabalho podem ser considerados de boa qualidade. Apenas o canal radiométrico de urânio e da contagem total apresentaram ruídos contínuos de direção EW, causados provavelmente pela influência do gás radônio na superfície ou adquiridos durante a realização do levantamento.

Os perfis radiométricos de urânio indicaram que as anomalias radioativas não apresentam uma boa correlação pontual com a localização dos corpos albitílicos do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. O urânio secundário ocorre disperso na área de estudo, principalmente devido às características climáticas e geomorfológicas da região que teriam propiciado a sua redistribuição na superfície e ao longo das drenagens.

As técnicas empregadas para realçar as informações aerogeofísicas forneceram informações relevantes sobre a distribuição de K, U, Th e da contagem total, possibilitando distinguir zonas potencialmente radioativas daquelas menos radioativas.

As rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real possuem uma composição predominantemente alcalina devido a ampla ocorrência de potássio. Esta constatação corrobora os estudos geoquímicos realizados por Maruéjol *et al.* (1987), que caracterizaram os granitos como rochas de composição alcalina a sub-alcalina.

Foram observados ainda altos teores de urânio e tório associados aos corpos albitílicos, e a granitos e gnaisses menos deformados do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Esta

unidade litológica provavelmente tem continuidade sob os sedimentos terciários do alto platô, em virtude dos altos teores desses dois radioelementos nesta região.

As principais jazidas de urânio (Jazida Cachoeira, do Engenho, Laranjeira e da Rabicha) mapeadas por Oliveira *et al.* (1985) destacam-se pelo alto teor de urânio. Estas áreas, no entanto, não apresentaram teores anômalos de tório.

A ocorrência de urânio e tório na área de estudo sugere uma forma arqueada das rochas, caracterizando uma compartimentação lito-estrutural compatível com os dados estruturais de Raposo *et al.* (1984) e Oliveira *et al.* (1985).

Anomalias de potássio, urânio e tório nos sedimentos quaternários a leste do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, demonstram uma ampla redistribuição destes radioelementos ao longo das drenagens.

Os dados magnéticos forneceram, basicamente, informações sobre as feições estruturais do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, contribuindo na identificação de 5 direções estruturais: 0°, 30°, 70°, 130° e 170°

As imagens magnéticas, no entanto, não destacaram claramente as unidades litológicas da área de estudo devido à ocorrência predominante de rochas granito-gnaíssicas, cuja variação magnética não é muito contrastante.

CAPÍTULO 4 – PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DO LANDSAT-5/TM DA REGIÃO DE LAGOA REAL

4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo aborda as características das imagens multiespectrais da área de estudo e a metodologia do processamento digital de imagens do Landsat-5/TM aplicada à caracterização das unidades litológicas da área de estudo. Dentre as técnicas de PDI implementadas, destacam-se a subtração de bandas (Moore & Liu 1990) e a técnica desenvolvida por Crósta & Moore (1989) para realçar as respostas espectrais dos solos residuais. Como complementação às informações espectrais obtidas, foram extraídos os principais lineamentos observados nas imagens da área de estudo. A interpretação das imagens multiespectrais, bem como a distribuição dos lineamentos da região de Lagoa Real, são apresentados no final deste capítulo.

As informações pormenorizadas das características do sensor orbital Landsat-5/TM, assim como as características das bandas multiespectrais obtidas por esse sistema, podem ser encontradas nos trabalhos de Drury (1987), Lillesand & Kiefer (1994) e Sabine (1996). Uma síntese sobre a utilização do Landsat-5/TM no meio geológico é apresentada no apêndice deste trabalho.

4.2 – CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS MULTIESPECTRAIS DA ÁREA DE ESTUDO

As imagens digitais do Landsat-5/TM utilizadas no presente trabalho correspondem a órbita 218 / ponto 69 obtidas no dia 30 de maio de 1987, durante a época da seca que ocorre na região entre os meses de maio a setembro.

O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) realizou o pré-processamento de nível 4, que consistiu na correção geométrica da imagem ao longo das linhas. Dentre as sete bandas espectrais obtidas pelo sensor orbital apenas as seis bandas do visível ao infravermelho de ondas curtas foram analisadas neste trabalho.

4.3 - METODOLOGIA

Este item apresenta de forma esquemática a metodologia empregada no processamento digital de imagens multiespectrais obtidas pelo Landsat-5/TM da área de estudo. Quatro etapas de trabalho foram definidas para a realização deste capítulo (Figura 4.1):

- 1) correção geométrica;
- 2) análise estatística das imagens multiespectrais;
- 3) técnicas de processamento digital de imagens (PDI) empregadas para o realce litológico; e
- 4) técnicas de PDI utilizadas para o realce estrutural.

A descrição detalhada de cada etapa é apresentada a seguir.

4.3.1 –CORREÇÃO GEOMÉTRICA

A correção geométrica consiste em georreferenciar as imagens de satélite em um sistema de coordenadas geográficas ou UTM (*Universal Transverse Mercator*), através da identificação de pontos de controle de terrenos (*GCPs - Ground Control Points*) observados nas imagens de satélite e no mapa topográfico.

Deste modo, a imagem da área de estudo foi georreferenciada no sistema UTM, através da identificação de 7 pontos de controle observados nas imagens multiespectrais do Landsat-5/TM e nas folhas topográficas Itanajé e Caetité (escala 1:100.000). Esses pontos encontram-se bem distribuídos pela área de estudo, alocados principalmente em interseções de estradas, pista de aeroporto e junção de drenagens. Para a retificação da imagem foi utilizado o Datum SAD69 e a projeção UTM23 Sul, com RMS final de 1.32 (Tabela 4.1).

4.3.2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS IMAGENS MULTIESPECTRAIS

A análise estatística realizada nas imagens do Landsat-5/TM pode indicar as bandas que possuem a maior quantidade de informações espectrais, o grau de correlação entre si e ainda fornecer dados estatísticos necessários à operações posteriores, como a Análise por Principais Componentes e o FPCS (*Feature-Oriented Principal Component Selection*).

Ponto	Valor X	Valor Y	Coord. E UTM	Coord. N UTM	RMS
1	600.66	1552.87	776.031	8.451.768	1.81
2	455.61	1661.52	770.975	8.449.313	0.20
3	494.69	1608.35	772.530	8.450.671	1.23
4	1140.56	2065.70	788.805	8.434.002	0.36
5	1499.33	2084.64	799.437	8.431.716	0.95
6	652.7	985.62	781.350	8.468.453	2.63
7	1486.77	850.80	807.242	8.468.269	1.32

Tabela 4.1 – Dados dos 7 pontos de controle utilizados para o georreferenciamento da imagem.

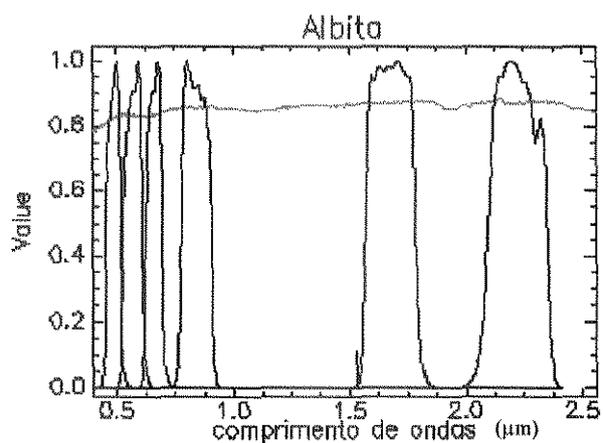
4.3.3 – REALCE LITOLÓGICO

Para realçar as características espectrais das unidades litológicas associadas às mineralizações uraníferas da região de Lagoa Real, realizou-se a princípio uma análise do comportamento espectral dos minerais de interesse.

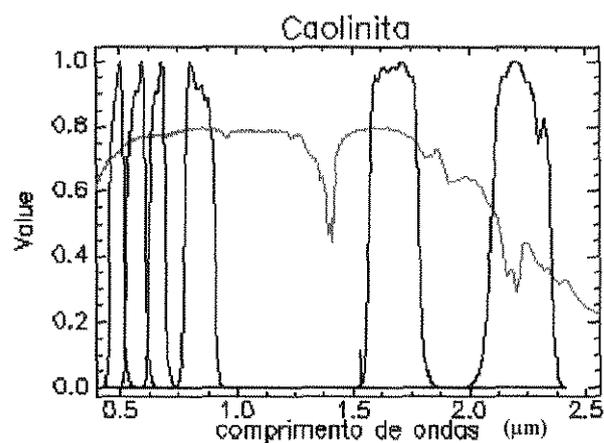
Com base na biblioteca espectral de referência desenvolvida por Clark *et al.* (1993), foram analisadas as curvas espectrais dos seguintes minerais: albita, caolinita, goethita e hematita.

A albita foi selecionada devido a sua importância como mineral principal da rocha hospedeira da mineralização uranífera. A escolha da caolinita, hematita e goethita foi baseada nas características dos solos residuais da região de Lagoa Real. Dentre estes três minerais, destacam-se a hematita e goethita, que ocorrem associadas ao urânio secundário da região Lagoa Real (Rocha 1991).

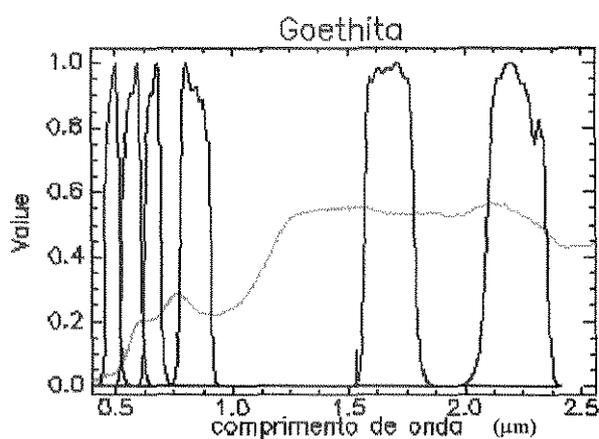
A Figura 4.1 (A) mostra a feição espectral da albita, com comportamento homogêneo ao longo do espectro do comprimento de ondas, apresentando pouca variação quanto a absorção e reflexão das ondas eletromagnéticas do mineral em relação à radiação solar. A caolinita (B) é destacada pela máxima reflectância na banda 5 correspondendo ao intervalo de 1,5 a 1,8 μm , e pela feição de absorção na banda 7 em torno de 2,2 a 2,3 μm . A goethita (C) e a hematita (D) apresentam feições de absorção na banda 1 e reflexão na banda 3.



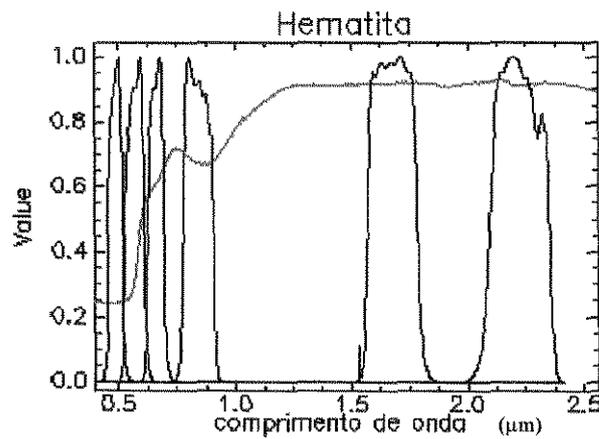
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 4.1 – Assinaturas espectrais da albita (A), caolinita (B), goethita (C) e hematita (D) ao longo do espectro eletromagnético com as janelas das 6 bandas do Landsat-5/TM (Clark *et al.* 1993).

Através da análise do comportamento espectral dos minerais de interesse, foram selecionadas as técnicas de processamento digital de imagens que destacaram melhor as respostas espectrais de óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais da área de estudo.

Deste modo, as técnicas utilizadas neste trabalho foram: composição colorida (RGB), operação aritmética de subtração das bandas espectrais em RGB e a técnica *Feature-Oriented Principal Component Selection* em RGB.

4.3.3.1 - Composição Colorida (RGB)

A aplicação da técnica de composição colorida (RGB) nas imagens do Landsat-5/TM necessita da seleção de três bandas espectrais específicas para a sua representação nas cores primárias: vermelho, verde e azul.

A escolha de bandas foi realizada com base nas características espectrais dos minerais de interesse. Assim, foram selecionadas as bandas 4, 3 e 1 para ressaltar a resposta espectral de óxidos e hidróxidos de ferro (bandas 3 e 1) e da vegetação (banda 4) na área de estudo.

4.3.3.2 - Subtração de Bandas

A operação aritmética de subtração compreende a exclusão dos dados correlacionáveis observados entre duas ou mais imagens digitais utilizadas, nas quais as diferenças espectrais entre as imagens são ressaltadas. Moore & Liu (1990) realizaram a subtração das bandas TM3-1, TM4-3, TM5-7 em RGB para realçar a ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro, vegetação e argilominerais em zonas de alteração epitermal no sudeste da Espanha.

4.3.3.3 - *Feature-Oriented Principal Component Selection* (FPCS)

Esta técnica, baseada na Análise por Principais Componentes (APC), foi desenvolvida por Crósta & Moore (1989) e posteriormente adaptada por Loughlin (1991) para destacar espectralmente áreas ricas em argilominerais e óxi-hidróxidos de ferro. Crósta & Moore (1989) conseguiram discernir os *gossans* dos demais solos na região de Minas Gerais (Brasil). Loughlin

(1991) aplicou esta técnica em regiões semi-áridas, obtendo bons resultados em relação a discriminação dos solos residuais de rochas carbonáticas.

Para a implementação da técnica FPCS nas imagens multiespectrais da área de estudo, foi realizada uma análise estatística dos Principais Componentes (PCs) das bandas 1, 3, 4 e 5, e 1, 4, 5 e 7. Teoricamente, estas bandas são agrupadas para destacar a ocorrência de óxidos hidróxidos de ferro e argilominerais, respectivamente.

4.3.4 – REALCE ESTRUTURAL

Além da obtenção de dados referentes às características espectrais das rochas e solos, as imagens do Landsat-5/TM fornecem informações relevantes para a caracterização estrutural da área de estudo.

Esta caracterização pode ser realizada com base nos lineamentos observados na imagem da banda 4 do Landsat-5/TM, que compreende o espectro eletromagnético no canal do infravermelho próximo. Esta banda espectral destaca muito bem as características morfológicas da imagem.

A Principal Componente 1 (PC1) das 6 bandas também pode ser utilizada em razão da sua contribuição no fornecimento de informações estruturais geradas pelo sombreamento topográfico e albedo, apresentando ainda uma imagem com pouco ruído.

A partir da análise da banda 4 e da PC1 da região de Lagoa Real foram identificados lineamentos de relevo negativo, os quais foram traçados e gravados na forma vetorial. Após a extração, foi realizada uma análise estatística do conjunto de lineamentos para a geração do diagrama de rosetas.

4.4 – RESULTADOS

4.4.1 – ESTATÍSTICA DAS BANDAS MULTIESPECTRAIS

Os dados estatísticos das imagens multiespectrais mostram que as bandas 1 e 2 apresentam altos valores de DN mínimo, devido à influência do espalhamento atmosférico que atua principalmente sobre as bandas na região do visível (Tabela 4.2).

A Tabela 4.3, correspondente à matriz de correlação entre as bandas, mostra o grau de inter-relacionamento entre elas. Analisando esta tabela, nota-se que com exceção da banda 4, as demais bandas apresentam boa correlação entre si.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Valor mínimo-máximo	40-108	13-74	10-87	5-89	3-190	1-180
Média	53,094	23,960	28,583	43,194	79,627	25,152
Desvio Padrão	5,140	4,276	8,810	7,429	23,861	11,088

Tabela 4.2 – Dados estatísticos das 6 bandas espectrais utilizadas.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Banda 1	1,000					
Banda 2	0,904	1,000				
Banda 3	0,884	0,944	1,000			
Banda 4	0,350	0,500	0,424	1,000		
Banda 5	0,815	0,857	0,901	0,468	1,000	
Banda 7	0,837	0,869	0,917	0,377	0,956	1,000

Tabela 4.3 – Matriz de correlação

As Tabelas 4.4 e 4.5 apresentam a matriz de autovetores das bandas 1, 3, 4 e 5, e 1, 4, 5, e 7, para a implementação da técnica FPCS. No caso da imagem com as bandas 1, 3, 4 e 5 foi selecionada a PC4, pelo fato das bandas 1 e 3 apresentarem comportamentos espectrais distintos representados por sinais opostos (negativo-absorção e positivo-reflectância) (Tabela 4.4). Em relação à imagem com as bandas 1, 4, 5 e 7 optou-se pela PC4 (Tabela 4.5).

Após a seleção das PCs foram geradas as imagens para a sua representação em RGB. Para completar o triplete foi realizada a junção das duas PCs descritas acima, correspondendo à ocorrência simultânea de óxidos e hidróxidos de ferro e argilominerais.

	PC1	PC2	PC3	PC4
Banda 1	0.167	0.080	-0.522	-0.833
Banda 3	0.315	0.078	-0.768	0.552
Banda 4	0.144	-0.987	-0.061	-0.028
Banda 5	0.923	0.113	0.366	-0.033

Tabela 4.4 – Matriz de autovetores das bandas 1, 3, 4 e 5.

	PC1	PC2	PC3	PC4
Banda 1	0.160	0.066	-0.736	0.654
Banda 4	0.134	-0.977	-0.140	-0.093
Banda 5	0.892	0.045	0.393	0.520
Banda 7	0.401	0.200	0.332	-0.718

Tabela 4.5– Matriz de autovetores da bandas 1, 4, 5 e 7.

4.4.2 – INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS DO LANDSAT-5/TM

A interpretação das imagens multiespectrais da região de Lagoa Real foi realizada através da sobreposição do mapa geológico impresso na folha de transparência (Anexo 2). A localização de áreas específicas descritas durante a interpretação das imagens, encontra-se representada por caracteres alfabéticos (A, B, C, ...).

4.4.2.1 - Imagem TM431 em RGB

A Figura 4.2 foi gerada através da representação das bandas 4, 3 e 1 em RGB. Esta imagem apresenta uma extensa área em vermelho, associada à resposta espectral da vegetação, que abrange aproximadamente 60% da área de estudo. Esta vegetação provavelmente do tipo cerrado recobre os sedimentos terciários da porção oeste da área, a região escarpada do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e os sedimentos quaternários localizados ao longo dos rios que drenam as rochas do Bloco Paramirim.

Figura 4.2 – Composição colorida das bandas 4, 3 e 1. Legenda: **A**, áreas onde ocorrem os principais depósitos de urânio; **B** e **C**, ocorrência de óxido e hidróxidos de ferro.

A região escarpada e intensamente erodida do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, apresenta áreas provavelmente com pouca vegetação, devido ao comportamento espectral um pouco diferenciado, evidenciado pela coloração vermelho escuro. Foi observado ainda, que os albitos mineralizados ocorrem predominantemente na região escarpada e pouco erodida do complexo (A).

As áreas com a presença de óxidos e hidróxidos de ferro são representadas pela coloração verde. Ressaltam-se as ocorrências sobre o Bloco Paramirim e sobre o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Na região do complexo, as superfícies enriquecidas em óxidos e hidróxidos de ferro estão localizadas ao longo das principais drenagens (B) e nas regiões escarpadas onde a vegetação é ausente (C).

Nota-se também a influência marcante da atividade antrópica na porção oriental da área de estudo, principalmente com a remoção da vegetação

4.4.2.2 - Subtração das Bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB

A Figura 4.3 apresenta a imagem gerada através da subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7 em RGB, objetivando ressaltar a distribuição de óxidos e hidróxidos de ferro, vegetação e argilominerais, respectivamente.

Antes de realizar a subtração das bandas foi efetuado um pré-processamento nos dados das imagens que consistiu na aplicação da fórmula BCET (*Balance Contrast Enhancement Technique*) desenvolvida por Liu (1991), com o objetivo de melhorar o contraste de cor.

A distinção de áreas enriquecidas em óxidos e hidróxidos de ferro (vermelho) foi dificultada pela ocorrência expressiva de argilominerais (azul) na área de estudo. A junção destes dois tipos de minerais é representada pela coloração magenta, que ocorre amplamente distribuída pela área de estudo. Destacam-se principalmente as ocorrências associadas às rochas do Bloco Paramirim, no contato entre o Bloco Paramirim e o complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (A) e nas encostas intensamente erodidas do complexo (B).

Figura 4.3 – Composição colorida RGB da subtração das bandas 3-1, 4-3 e 5-7. Legenda: **A** e **B**, ocorrência de óxi-hidróxidos de ferro e argilominerais; **C**, **D** e **E**, as principais ocorrências de argilominerais na área de estudo.

A cobertura vegetal, representada espectralmente pela cor verde, ocorre principalmente na porção oeste, recobrando os sedimentos terciários do Alto Platô Ocidental e boa parte das rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Observa-se também uma densa vegetação ao longo das drenagens do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e dos sedimentos quaternários depositados no Baixo Platô Oriental. Esta imagem confirma a ausência da vegetação nas porções onde as unidades litológicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real encontram-se mais desgastadas pela erosão.

A ocorrência de argilominerais representada pela cor azul é observada em quase toda a área de estudo, principalmente sobre os sedimentos terciários da porção oriental (C), ao longo dos sedimentos quaternários do alto platô (D) e sobre as rochas do Bloco Paramirim (E) da área de estudo.

4.4.2.3 - Feature-Oriented Principal Components Selection em RGB

A Figura 4.4 apresenta a imagem obtida a partir da aplicação da técnica FPCS, com a PC3-TM1457 (H-argilominerais), PC1-HFe e PC4-TM1345 (Fe-óxidos e hidróxidos de ferro) em RGB. Esta composição colorida foi integrada com a PC1 das seis bandas espectrais modulada à intensidade.

Nota-se que quase toda a área de estudo apresenta coloração amarelada, sugerindo que os solos da região de Lagoa Real são compostos essencialmente por argilominerais. Ocorrências isoladas de quantidades consideráveis de argilominerais são representadas pela cor vermelho-alaranjada, localizadas predominantemente em regiões planas, associadas aos sedimentos terciários (A), da porção nordeste da área, e aos sedimentos quaternários do Alto Platô Ocidental (B).

As ocorrências de óxidos e hidróxidos de ferro representadas em azul associam-se às áreas onde afloram as rochas do Bloco Paramirim (C) e do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Observam-se também vales enriquecidos em ferro na parte centro-norte do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (D). As regiões descampadas (E), situadas na parte oeste da área, também apresentam-se enriquecidas em ferro.

Figura 4.4 – Imagem gerada com a aplicação da técnica FPCS em RGB sobreposta à PC1.
Legenda: **A** e **B**, áreas enriquecidas em argilominerais; **C**, **D** e **E**, ocorrência de óxi-hidróxidos de ferro.

4.4.3 – ANÁLISE DOS LINEAMENTOS

A Figura 4.5 apresenta a distribuição dos lineamentos extraídos a partir das imagens do Landsat-5/TM da área de estudo. Os lineamentos observados nessa figura ocorrem geralmente distribuídos sobre as rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e do Bloco Paramirim. Os sedimentos terciários, por outro lado, apresentam poucos lineamentos marcantes, destacando apenas feições estruturais das rochas não aflorantes.

O diagrama de rosetas (Figura 4.6) destaca principalmente os lineamentos com direção 30°, 60° a 70°, 110° a 120°, 140° a 150°. Estas feições estruturais estão provavelmente associadas à família de juntas observadas nas rochas gnáissicas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, por Hasui (1983). Os demais lineamentos observados no diagrama de roseta são menos expressivos, e ocorrem provavelmente associados à foliação das rochas do complexo.

4.5 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

As imagens multiespectrais geradas com a aplicação das técnicas de composição colorida (RGB), subtração de bandas e *Feature-Oriented Principal Component Selection* (FPCS) apresentaram informações espectrais relevantes sobre os solos residuais da área de estudo.

As três técnicas empregadas neste estudo destacaram bem as principais ocorrências de óxidos-hidróxidos de ferro e de argilominerais, e apresentaram similaridades na localização destas. No entanto, não foi possível observar uma correlação entre a ocorrência dos óxidos e hidróxidos de ferro e as mineralizações uraníferas. Este fato pode ser atribuído à intensa alteração intempérica das rochas, e à dificuldade encontrada na interpretação das imagens causada pela influência da vegetação e da atividade antrópica presente na área em apreço.

Os albitos mineralizados ocorrem predominantemente na região escarpada e pouco erodida do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. O solo residual enriquecido em óxido e hidróxidos de ferro (Rocha 1991) certamente contribuiu na preservação do relevo diante da ação intempérica que teria afetado as demais áreas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.

Os lineamentos extraídos nas imagens do Landsat-5/TM forneceram informações quanto a sua distribuição sobre as rochas da região de Lagoa Real. Quatro feições estruturais principais com direções 30°, 60° a 70°, 110° a 120° e 140° a 150°, ocorrem na área de estudo.

Figura 4.5 – Imagem da banda 4 do Landsat-5/TM em tons de cinza com a sobreposição dos lineamentos em vermelho.

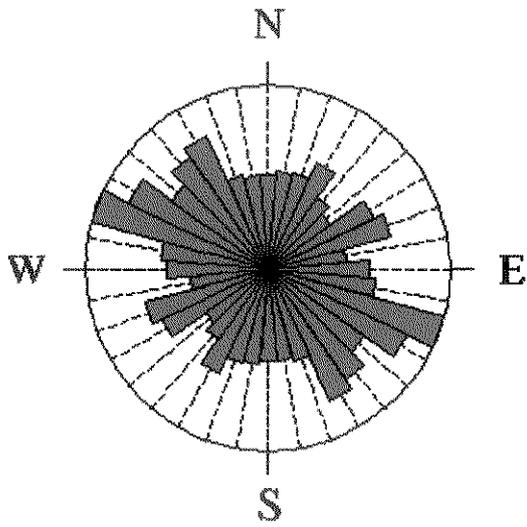


Figura 4.6 – Diagrama de rosetas com os lineamentos extraídos na imagem de satélite.

CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS, AEROGEOFÍSICAS E DO LANDSAT-5/TM

5.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Visando avaliar simultaneamente os dados aerogeofísicos, as imagens do Landsat-5/TM e o mapa geológico, foram efetuadas várias integrações entre estes dados em ambiente digital.

Para realçar conjuntamente as imagens digitais foram aplicadas técnicas de integração através de PDI, selecionadas a partir dos resultados obtidos durante o processamento dos dados aerogeofísicos e das imagens de satélite, apresentados nos capítulos anteriores.

Além da integração entre as imagens, foi realizada a análise comparativa entre os lineamentos extraídos nas imagens magnéticas e do Landsat-5/TM. Esta análise teve como intuito avaliar as informações estruturais obtidas por essas duas ferramentas.

5.1.1 – INTEGRAÇÃO ENTRE O MAPA GEOLÓGICO, CANAL DE URÂNIO EM PSEUDOCOR E A BANDA 4 DO LANDSAT-5/TM.

A figura 5.1 foi gerada através da integração entre o mapa geológico, o canal de urânio em pseudocor e a banda 4 do Landsat-5/TM. Esta figura mostra a distribuição espacial das principais ocorrências de urânio sobre a superfície topográfica da porção oeste da área de estudo. Teores de urânio acima do limiar da anomalia ($U > 22,3$ ppm) foram delimitadas em preto para serem melhor distinguidas na área de estudo.

Esta figura mostra claramente a dispersão de urânio nos taludes e ao longo das drenagens na área de estudo. Esta dispersão reforça a idéia da ocorrência de anomalias radiométricas de encosta sugerida anteriormente por Rocha (1991) na região de Lagoa Real.

Mesmo considerando o fato da dispersão de urânio na superfície, as principais ocorrências anômalas deste radioelemento não ocorrem associadas somente aos corpos lenticulares de albititos. As rochas graníticas e gnáissicas do complexo também possuem altos teores de urânio.

Figura 5.1 – Localização das principais anomalias de urânio da área de estudo obtidas através da integração entre a banda 4 do Landsat-5/TM, dados do canal de urânio e o mapa geológico.

5.1.2 – CONTORNO DA CONTAGEM TOTAL SOBREPOSTA À IMAGEM MAGNÉTICA EM TONS DE CINZA COM O FILTRO DIRECIONAL E-W

A Figura 5.2 mostra a contagem total sobreposta à imagem magnética realçada com o filtro direcional E-W. A integração destas informações permitiu analisar a relação lito-estrutural das rochas da área de estudo. A contagem total foi representada pelo contorno em tons de azul ($464 < CT < 1.166$ cps) e verde ($CT > 1.166$ cps).

Esta figura mostra feições estruturais marcantes com direção em torno de 10° a 20° , ao longo do contato entre o Bloco Paramirim e o Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real (A).

Outra feição muito bem destacada nesta figura compreende uma faixa evidenciando uma macro-estrutura de caráter dúctil, localizada na parte central da área de estudo. Esta faixa apresenta na sua porção meridional, direção N-S (B), e na porção setentrional, direção preferencial NW-SE (C), caracterizando desta forma uma estrutura arqueada, associada às rochas com teores médios de urânio e tório. As principais jazidas uraníferas de Lagoa Real, mapeadas por Oliveira *et al.* (1985) ocorrem localizadas justamente nesta faixa. Esta faixa provavelmente associa-se a zona de cisalhamento sugerido por Caby & Arthaud (1987).

A anomalia (D) representada pela alta contagem total (verde) encontra-se delimitada a norte e a leste, pela macro-estrutura descrita acima, a sul, pela feição estrutural de direção 60° a 70° .

5.1.3 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS LINEAMENTOS EXTRAÍDOS NAS IMAGENS MAGNÉTICAS E DO LANDSAT-5/TM.

A Figura 5.3 mostra os diagramas de roseta obtidos através da extração dos lineamentos observados nas imagens magnéticas (A) e do Landsat-5/TM (B). Analisando os principais *trends* das feições estruturais da área de estudo, pode-se observar que ocorrem 3 direções principais nos dois diagramas: 30° , 60 a 70° e 130° . As demais feições estruturais não apresentaram muita correlação em termos de direção e frequência.

Figura 5.2 – Integração dos dados magnéticos em tons de cinza com o contorno da contagem total (CT>1.166cps em verde e de 464<CT<1.166 cps em azul).

Os lineamentos estruturais extraídos nas imagens magnéticas mostraram-se mais confiáveis porque revelaram com mais clareza o padrão estrutural das rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, e pelo fato de que as imagens magnéticas destacam de forma real a distribuição das estruturas, como falhas e fraturas (Figuras 3.9 e 5.2).

Os lineamentos extraídos nas imagens de satélite, por sua vez, apresentaram resultados bem dispersos, o que tornou a sua interpretação bastante subjetiva. Este fato pode ser atribuído à extração de estruturas de caráter dúctil associadas às foliações das rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real, principalmente àquelas com direção NW-SE.

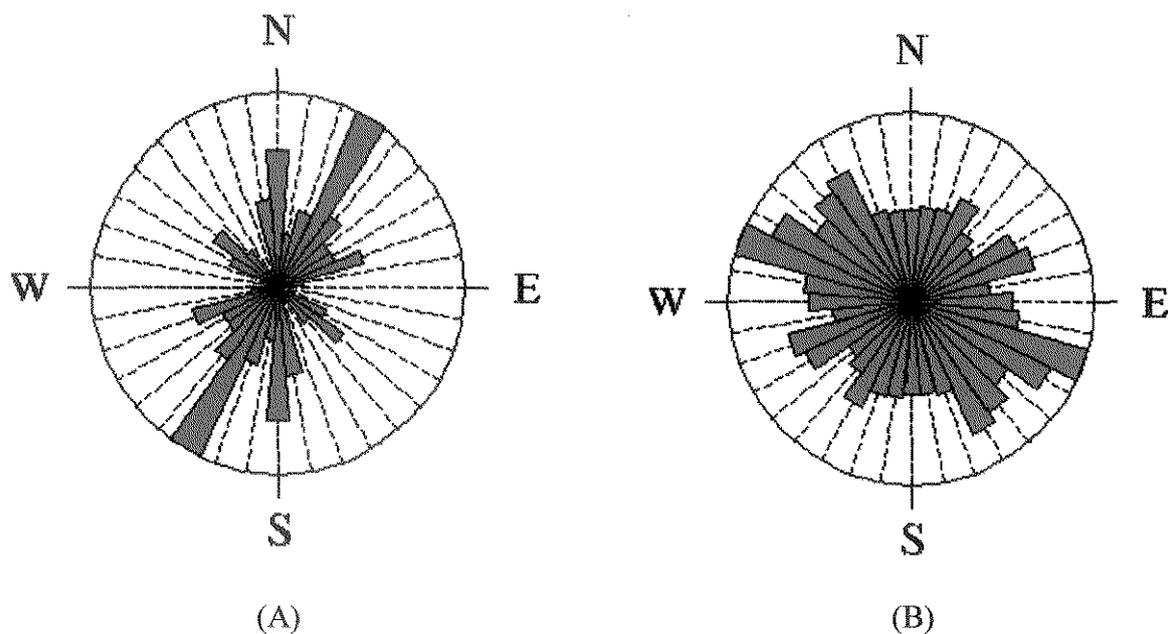


Figura 5.3 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos na imagem magnética (A) e na imagem do Landsat-5/TM (B).

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

A análise individual e a de forma integrada dos dados geológicos, aerogeofísicos e do Landsat-5/TM disponíveis na região de Lagoa Real, demonstraram a grande eficácia na obtenção de informações substanciais ao contexto geológico regional e à mineralização uranífera na área de estudo. As principais constatações verificadas neste trabalho são destacadas a seguir:

- O processamento efetuado sobre os dados aerogamaespectrométricos permitiu a “semi-quantificação” das anomalias de urânio, com a obtenção do teor médio de 8,6 ppm e teor anômalo de 22 ppm, observadas no Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Através da comparação com o teor médio padrão das rochas graníticas foi constatado que o complexo apresenta alto teor de urânio. No geral, a localização das anomalias radioativas de urânio não apresentaram uma boa correlação pontual com os corpos albitíficos mineralizados. Este fato deve-se, principalmente, às características climáticas e geomorfológicas da região, que favoreceram a deposição do urânio em taludes (depósito coluvial) e ao longo das drenagens (depósito aluvial). O urânio também ocorre de modo anômalo sobre os granitos e gnaisses menos deformados do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real.
- A ocorrência de tório destaca-se na área com teores médio de 23 ppm e anômalo de 65 ppm, este último confirma o alto conteúdo desse radioelemento nas rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Foi observado ainda que o tório apresenta-se pouco disperso na superfície devido ao seu comportamento geoquímico estável diante da alteração intempélica. A localização das principais anomalias de tório ocorrem em locais similares aos de urânio.
- A distribuição de potássio mostrou-se próxima aos padrões normais de rochas graníticas. Este fato permitiu associar seus teores às rochas do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real e através da análise comparativa com os dados bibliográficos permitiu confirmar a sua composição alcalina.
- Através do processamento digital de imagens do Landsat-5/TM foi constatada a intensa alteração intempélica das rochas da área em estudo, onde regiões enriquecidas em óxidos e

hidróxidos de ferro e argilominerais foram discriminadas espectralmente. A ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro, não apresentaram uma boa correlação com os corpos albitícos mineralizados, devido às influências da intensa alteração intempérica, da vegetação que recobre 60% da área e da atividade antrópica presente na região.

- Com base na integração dos dados temáticos abordados nesta dissertação, salienta-se a ocorrência de uma extensa área altamente radioativa em urânio, associada às rochas gnáissicas menos deformadas da porção centro-oeste do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Esta região pode ser considerada uma área promissora, onde há a necessidade de um estudo detalhado para caracterizar melhor essa ocorrência anômala.
- Ainda através da integração dos dados supracitados, observou-se que as principais jazidas uraníferas mapeadas anteriormente por Oliveira *et al.* (1985) ocorrem associadas à uma macro-estrutura de caráter dúctil, localizada na parte central da área em estudo. Essa faixa apresenta na sua porção meridional, direção NS, e na porção setentrional, direção NW-SE, caracterizando assim, uma estrutura arqueada do Complexo Granito-Gnáissico Lagoa Real. Essa estruturação está associada a zona de cisalhamento observada por Caby & Arthaud (1987), a qual é responsável pela intensa deformação observada nas rochas gnáissicas do referido complexo. É importante salientar que ao longo desta faixa não foram observadas ocorrências anômalas de tório.
- Através da análise comparativa entre os lineamentos, foi possível constatar que os principais *trends* das feições estruturais, observadas na imagem magnética, apresentaram direções de 0°, 30°, 70°, 130° e 170°, destacando um padrão estrutural mais confiável do que a imagem de satélite. Esta última apresentou a distribuição dos lineamentos de forma muito dispersa, mas com direções preferenciais de 30°, 60° a 70°, 110° a 120°, 140° a 150°, relativamente similares aos dados magnéticos. A partir desta análise comparativa, três direções estruturais são destacadas: 30°, 60° a 70°, 130°.

A partir dos objetivos alcançados através da integração dos dados geológicos, aerogeofísicos e do Landsat-5/TM visando a caracterização dos depósitos uraníferos, pode-se

propor a utilização desta metodologia em outras regiões com o contexto geológico e metalogenético similares à região de Lagoa Real.

Dentre os dados utilizados nesta dissertação, ressalta-se a importância da aerogamaespectrometria que permitiu detectar de forma direta as áreas enriquecidas em urânio. A implementação de técnicas de processamento digital nesses dados permitiu ainda representar espacialmente as anomalias de urânio, otimizando, assim, a utilização das informações aerogeofísicas existentes na caracterização de áreas altamente radioativas. A realização dos trabalhos de campo com o gamaespectrômetro seria de extrema importância para averiguar pontualmente as anomalias radiométricas obtidas pelo levantamento aéreo.

Os dados aeromagnéticos também foram fundamentais nesta dissertação, pois as mineralizações uraníferas da região encontravam-se condicionadas por fatores lito-estruturais. Uma análise estrutural mais detalhada através do trabalho de campo poderia esclarecer melhor as feições estruturais observadas nas imagens magnéticas.

As imagens do Landsat-5/TM, por sua vez, não apresentaram resultados satisfatórios quanto a caracterização de áreas radioativas. Isto se deve, basicamente à intensa alteração intempérica das rochas e a influência da vegetação. Talvez, a realização de uma análise das imagens obtidas em épocas distintas possa fornecer informações pertinentes quanto ao comportamento espectral da vegetação em relação aos solos residuais, contribuindo assim, na caracterização de áreas altamente radioativas. Destacam-se as características topográficas e estruturais observadas nas imagens multiespectrais que auxiliaram na caracterização espacial das anomalias radioativas.

Desta forma, trabalhos futuros voltados à análise integrada dos dados aerogeofísicos e do Landsat-5/TM em âmbito regional, podem contribuir favoravelmente na caracterização espacial de possíveis áreas anômalas em urânio, bem como no esclarecimento do condicionamento geotectônico regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.A. & Gasparini, P. 1970. *Gamma-Ray Spectrometry of Rocks*. Ed. Elsevier Publ. Comp., 295p.
- Amaral, G. & Pascholati, E.M. 1998. Transformação dos dados aerogeofísicos do Projeto Rio das Velhas para uso em integração de dados. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, *Anais*, p.396.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Bair, A. K. 1984. Rapid discrimination of granitic rock compositions by low-resolution near-infrared reflectance. *Journal of Geophysical Research*, 89: 2491-2496.
- Barbosa, J.S.F.; Sabaté, P.; Dominguez, J.M.L. 1996. O Estado da Bahia na Plataforma Sul-Americana, suas subdivisões, critérios de empilhamento estratigráfico e ciclos geotectônicos. In: *Mapa Geológico do Estado da Bahia. Texto Explicativo*. Salvador, 41-61.
- Blom, R.G.; Abrams, M.J; Adams, H.G. 1980. Spectral reflectance and discrimination of plutonic rocks in the 0.45- to 2.45 μ m region. *Journal of Geophysical Research*, 85: 2638-2648.
- Brito, W.; Raposo, C.; Matos, E. C. 1984. Os albitos uraníferos de Lagoa Real. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, 1475-1487.
- Brito Neves, B.B.; Cordani. U.G.; Torquato, J.R.F. 1980. Evolução geocronológica do Precambriano do Estado da Bahia. In: Inda, H.A.V. *Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia - Textos básicos*. Coord. Prod. Miner/Secr. Minas e Energia, Bahia, 3: 103p.

- Caby, R. & Arthaud, M. 1987. Petrostructural Evolution of the Lagoa Real subalkaline metaplutonic complex (Bahia, Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, 17: 636.
- Christofoletti, A. 1980. *Geomorfologia*. Ed. Edgard Blucher. 188p.
- Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Gallagher, A.; King, T.V.V.; Calvin, W.M. 1993. *The U. S. Geological Survey Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 mm*: U.S. Geological Survey, Open File Report 93-592, 1340p. In: ENVI User's Guide (1997), Spectral Libraries.
- Conceição, H. & Otero, O.M.F. 1996. *Magmatismo granítico e alcalino no Estado da Bahia. Uma epítome do tema*. Salvador, SGM, 133p.
- Cordani, U.G. 1973. Definição e caracterização do cráton do São Francisco. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, *Anais*, 2: 142-145.
- Cordani, U.G. 1983. *Interpretação geocronológica - Amostras de Lagoa Real. Bahia*. Relatório interno Nuclebrás, 9p.
- Cordani, U.G.; Iyer, S.S.; Taylor, P.N.; Kawashita, K.; Sato, K.; McReath, I. 1992. Pb-Pb, RB-SR, and K-Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5-1.0 Ga). *Journal of South American Earth Sciences*, 5: 33-46.
- Costa, P.H.O.; Andrade, A.R.F.; Lopes, G.A.; Souza, S.L. 1985. *Projeto Lagoa Real. Mapeamento Geológico 1:25.000*. Nuclebrás/CBPM. Salvador, Bahia. 98p.
- CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Naturais. 1995. *Catálogo geral de produtos e serviços. Geologia. Levantamentos Aerogeofísicos*. Base de dados AERO. CPRM, Rio de Janeiro, 359p.

- Cressie, N.A.C. 1990. The Origin of Kriging. *Mathematical Geology*, **22**: 239-252.
- Crósta, A.P. & Moore, J. McM. 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone Belt Terrain. In: *Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary, 1173-1187.
- Crósta, A.P. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Ed. UNICAMP, Campinas. 170p.
- Darnley, A.G. 1975. Geophysics in Uranium Exploration. In: *Uranium Exploration '75*. Geological Survey of Canada, paper 75-26: 21-31.
- Dobrin, M.B. & Savit, C.H. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting*. Ed. McGraw-Hill Book Company. 867p.
- Dominguez, J.M.L. 1993. As coberturas do Cráton do São Francisco: Uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: Dominguez, J.M.L. & Misi, A. (1993) O Cráton do São Francisco. *II Simpósio sobre o Cráton do São Francisco*, Salvador, Bahia. p. 137-159
- Drury, S.A. 1987. *Image Interpretation in Geology*. London: Allen & Unwin, 243p.
- Fernandes, P.E.C.A.; Montes, M.L.; Braz, E.R.C.; Montes, A.S.L.; Silva, L.L.; Oliveira, F.L.L.; Ghignone, J.I.; Siga Jr, O.; Castro, H.E.F. 1982. Geologia. In: *Projeto Radambrasil. Folha SD.23 Brasília*. Levantamento de Recursos naturais. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, **29**: 25-204.
- Fuzikawa, K. 1980. Estudos preliminares de inclusões fluidas em albita dos albitos do Projeto Lagoa Real, Caetitê, BA, Brasil. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, *Anais*, **4**: 2038-2049.

- Fuzikawa, K.; Alves, J.V.; Maruéjol, P.; Cuney, M.; Kosztolanyc, C.; Poty, B. 1988. The Lagoa Real uranium province, Bahia State, Brazil: Some petrographic and fluid inclusion studies. *Geochimica Brasilienses*, 2: 109-118.
- Fyfe, W.S.; Kerrich, R. 1985. Fluids and Thrusting. *Chemical Geology*, 49: 353-362.
- Gabelman, J.W. 1977. *Migration of uranium and thorium – exploration significance*. American Association of Petroleum Geologists-Studies in Geology, 3: 19-21.
- Guilbert, J.M. & Park Jr., C.F. 1985. *The Geology of Ore Deposits*. Ed. W. H. Freeman na Company, New York. 985p.
- Hasui, Y. 1983. *Características estruturais e tectônicas do local de interesse da Jazida Cachoeira (Anomalia 13)*. Relatório IPT, n. 18.106. Anexo C. 24p.
- Hunt, G.R. & Salisbury, J. 1970. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. *Modern Geology*, 1: 283-300.
- Hunt, G.R. & Salisbury, J.W. 1976. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XII. Metamorphic rocks. *Modern Geology*, 5: 219-228.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. 1991. *Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying*. Technical Reports Series., Viena, n. 323, 97p.
- INB – Indústrias Nucleares do Brasil S.A. 1996. *Relatório Anual. Secretaria de Assuntos Estratégicos*. 63p.
- Inda, H.A.V. & Barbosa, J. 1978. *Mapa geológico do Estado da Bahia (escala 1:1.000.000) – Texto explicativo*. Sec. de Minas e Energia do Estado da Bahia. 137p.

- Jardim de Sá, E.F.; Brito Neves, B.B.; McReath, I.; Bartels, R.L. 1976. Novos dados geocronológicos sobre o Cráton do São Francisco no Estado da Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Belo Horizonte, *Boletim de Resumos*, p.203.
- Killen, P.G. 1979. *Gamma ray spectrometric methods in uranium exploration – Application and interpretation*. Geophysics and Geochemistry in Search for Metallic Ores, Geological Survey of Canada, Econ. Geol. Rep., 31, 811p.
- Kogan, R.M.; Nazarov, J.M.; Fridman, Sh.D. 1971. *Gamma spectrometry of natural environments and formations*. NTIS, Springfield, V.A., 337p.
- Lambert, I.; McKay, A.; Mieztis, Y. 1997. *Geology of Uranium Deposits*. Nuclear Issues Briefing Paper 34, 4p., Australia. <http://www.uic.com.au/nip34.htm>.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, 750p.
- Liu, J.G. 1991. Balance contrast enhancement technique and its application in image colour composition. *International Journal Remote Sensing*, 12 (10): 2133-2151.
- Lobato, L.M.; Forman, J.M.A.; Fuzikawa, K.; Fyfe, W.S.; Kerrich, R. 1982. Uranium enrichment in Archean basement: Lagoa Real, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 12: 484-486.
- Lobato, L.M.; Forman, J.M.A.; Fuzikawa, K.; Fyfe, W.S.; Kerrich, R.; Barnett, R.L. 1983. *Uranium enrichment in Archean crustal basement, Bahia, Brazil*. The Canadian Mineralogist, 21, parte 4.
- Lobato, L.M. 1985. *Metamorphism, Metasomatism and Mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil*. University of Western Ontario, Tese de Doutorado, 306p.

- Loughlin, W.P. 1991. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **57**(9): 1163-1169.
- Magnavita, L.P. & Rocha, G.M.F. 1996. Estruturas e Tectônica das Coberturas do Estado da Bahia. In: Barbosa, J.S.F. & Dominguez, J.M.L. *Mapa Geológico do Estado da Bahia. Texto Explicativo*. Salvador, BA, p. 229-259.
- Mares, S. 1984. *Introduction to Applied Geophysics*. Ed. D. -Reidel Publ. Comp. 581p.
- Marmont, S. 1978. Unconformity-type uranium deposits. In: Roberts, R.G. & Sheahan, P.A. *Ore Deposit Models*. Ed. Geoscience. Canada, Série3, p. 103-115.
- Maruéjol, P.; Cuney, M. 1988. U versus Th - Concentration processes: An example from the Lagoa Real albitized granites (Bahia, Brazil). *Chemical Geology*, **70**: 189.
- Maruéjol; P.; Cuney, M.; Fuzikawa, K.; Netto, A.M.; Poty, B. 1987. The Lagoa Real Subalkaline Granitic Complex (South Bahia, Brazil): A Source for Uranium Mineralizations Associated with Na-Ca metasomatism. *Revista Brasileira de Geociências*, **17**(4): 578-594.
- Maruéjol; P.; Cuney, M.; Fuzikawa, K. 1993. U versus Th – Concentration processes associated to Na-metasomatism in granites: The Lagoa Real district (Bahia, Brazil). In: CBGq, International Geochemical Exploration Symposium, 13, Rio de Janeiro, *Abstracts*, p.101.
- Mascarenhas, J.F. & Weber, T.M. 1989. *Mapa geocronológico do Estado da Bahia*. Secretaria das Minas e Energia, Salvador, Bahia, Brasil.
- Mauro, C.A.; Dantas, M.; Roso, F.A. 1982. Geomorfologia. In: *Projeto Radambrasil. Folha SD.23 Brasília*. Levantamento de Recursos naturais. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, **29**: 205-296.

- McMillan, R.H. 1996. "Classical" U Veins. In: Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, v.2 – In: Lefebure, D.V. & Höy, T. - Metallic Deposits. British Columbia Ministry of Employment and Investment, p. 93-96.
<http://natural.gov.bc.ca/geosmin/metalmin/mdp/Profiles/I15.htm>
- Moore, J.M.; Liu, J.G. 1990. *Image enhancement of epithermal gold deposit alteration zones in southeast Spain*. P.49-58.
- Nash, J.T., Granger, H.C.; Adams, S.S. 1981. Geology and concepts of genesis of important types of uranium deposits. In: *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, p. 63-116.
- Nimer, E. 1977. Clima. In: *Geografia do Brasil. Região Nordeste*. IBGE, 2: 47-84.
- Novo, E.M.L.M. 1992. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. Ed. Blucher, São Paulo, 308p.
- Oliveira, A.G.; Fuzikawa, K.; Moura, A.L.M.; Raposo, C. 1985. Província uranífera de Lagoa Real - Bahia. In: Schobbenhaus, C. (Coord.) *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. MME-DNPM, Brasília, 1: 105 - 120.
- Pereira, N.M. 1990. *O Brasil e o mercado internacional de urânio*. Escola Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo. Tese de doutoramento, 244p.
- Pimentel, M.M.; Machado, N.; Lobato, L.M. 1994. Geocronologia U-Pb de rochas graníticas e gnaissicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú, *Resumos Expandidos*, p.389-399.

- Prost, G.L. 1994. *Remote Sensing for Geologists. A guide to image interpretation*. Ed. Gordon and Breach Science Publishers. 326p.
- Raposo, C.; Matos, E.C.; Brito, W. 1984. Zoneamento cálcio-sódico nas rochas da Província Uranífera de Lagoa Real. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 1489-1502.
- Ribeiro, C.J.; Carvalho, C.A.F.; Hashizume, B.K. 1984. As jazidas de urânio de Lagoa Real. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, *Anais*, p.1463-1474.
- Robinson, E.S. & Çoruh, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Ed. John Wiley & Sons. 562p.
- Rocha, E.B. 1991. *Dispersão e Redistribuição de Urânio e acompanhadores em mineralizações uraníferas submetidas a alteração laterizante. Exemplo da Jazida Laranjeiras. Província Uranífera de Lagoa Real, Bahia*. Inst. de Astronomia e Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado.
- Ruzicka, V. 1975. New sources of uranium? Types of uranium deposits presently unknown in Canada. In: Uranium Exploration'75. *Geological Survey of Canada*, p.13-20.
- Sabine, C. 1996. *Remote Sensing for Mineral Exploration*. Manual of Remote Sensing – 3 Ed. (Manuscrito).
- Schmitt, J.M.; Rocha, E.B.; Melfi, A.J. 1989. Geomorphic studies as na help to uranium exploration in laterite covered areas: Example of the Lagoa Real (Bahia-Brazil) Uranium Provice. In: AEG/SBGq, International Geochemical Exploration Symposium, 12, Rio de Janeiro, *Abstract*, p. 15-17.

- Schwarzer, T.F. & Adams, J.A.S. 1973. Rock and soil discrimination by low altitude airborne gamma-ray spectrometry in Payne County, Oklahoma. *Economic Geology* (68): 1297-1312.
- Silva, M.G. 1996. Sequências Metassedimentares, Vulcanossedimentares e Greenstone Belts do Arqueano e Proterozóico Inferior. In: Barbosa, J.S.F & Dominguez, J.M.L. *Mapa Geológico do Estado da Bahia. Texto Explicativo*. Salvador, BA, p. 87-102.
- Silva, S.B. & Assis, J.S. 1982. Vegetação. Estudo Fitogeográfico. In: *Projeto Radambrasil. Folha SD.23 Brasília*. Levantamento de Integração Nacional. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, **29**: 461-528.
- Smirnov, V.I. 1976. Albitite-greisen deposits. In: *Geology of mineral deposits*. Ed. Mir, Moscow. Cap. 8, 197-210.
- Smith, W.H. & Wessel, P. 1990. Gridding with continuous curvature splines en Tension. *Geophysics*, **55** (3): 293-305.
- Sobrinho, E.G.; Raposo, C.; Alves, J.V.; Brito, W.; Vasconcelos, T.G. 1980. O Distrito Uranífero de Lagoa Real, BA. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú,. *Anais*, **3**: 1499-1510.
- Solovov. A.P. 1987. *Geochemical Prospecting*. Mir Publishers. Moscow. 287p.
- Stein, J.H.; Netto, A.M.; Drummond, D.; Angeiras, A.G. 1980. Nota preliminar sobre os processos de albitização uranífera de Lagoa Real (Bahia) e sua comparação com os da URSS e Suécia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú,. *Anais*, **3**: 1758-1775.

- Távora, F.I.; Cordani, U.G.; Kawashita, K. 1967. Determinações de idades potássio-argônio em rochas da região central da Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 21, Aracaju, *Anais*, 1: 214-224.
- Tilsley, J.E. 1978. Genetic considerations relating to some uranium ore deposits. In: Roberts, R.G. & Sheahan, P.A. *Ore Deposit Models*. Ed. Geoscience. Canada, Série3, p. 91-101.
- Trompette, R.; Uhlein, A.; Silva, M.E.; Karmann, I. 1992. The Brasiliano São Francisco craton revisited (central Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 6: 49-57.
- Turpin, L.; Maruéjol, P.; Cuney, M. 1988. U-Pb, Rb-Sr and Sm-Nd chronology of granitic basement, hydrothermal albitites and uranium mineralization (Lagoa Real, South-Bahia, Brazil). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98: 139-147.
- Ussami, N. & Bott, M.H.P. 1989. A gravity study of the Paramirim granite, Bahia State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 19: 179-176.
- Vasconcellos, R.M.; Metelo, M.J.; Motta, A.C.; Gomes, R.D. 1994. *Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil*. CPRM, Rio de Janeiro. 165p.
- Villaça, J.N.; Hashizume, B. K. 1982. Distrito Uranífero de Lagoa Real- Reserva e Potencial. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, *Anais*, 4: 2048-2061.
- Ward, S.H. 1981. Gamma-Ray Spectrometry in Geologic Mapping and Uranium Exploration. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, p. 840-849.
- Wright, P.M. 1981. Gravity and Magnetics Methods in Mineral Exploration. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, p. 829-839.

APÊNDICE

AEROGAMAESPECTOMETRIA

O levantamento gamaespectômetro aeroportado é um método geofísico eficiente principalmente na detecção direta de depósitos uraníferos e no mapeamento geológico básico de áreas extensas (Darnley 1972, Schwarzer & Adams 1973, Killen, 1979, Ward 1981). O gamaespectômetro detecta a radiação-gama (γ) emitida pelos isótopos instáveis ^{40}K , ^{238}U e ^{232}Th na crosta terrestre.

O ^{40}K compreende 0,0119% do K total encontrado na crosta, gerando os seguintes elementos radiogênicos: ^{40}Ca (88%) e o ^{40}Ar (12%), sendo que apenas o ^{40}Ar emite a radiação-gama.

O urânio natural compreende 3 tipos de isótopos: ^{238}U e ^{235}U , que correspondem, respectivamente, a 99,27% e 0,72% da abundância do elemento, e o filho radiogênico ^{234}U que completa o restante da quantidade do elemento na crosta terrestre. O ^{238}U durante o decaimento radioativo gera radiogênicos como o ^{222}Rn (Radônio) que consiste em um gás volátil, o ^{214}Bi que seria o termo intermediário da série e o ^{206}Pb como o elemento radiogênico final.

O ^{232}Th durante a série de desintegração decai para ^{208}Tl e, finalmente, para o ^{208}Pb . Os isótopos radioativos, urânio e tório emitem radiação-gama em outras energias, porém as mais utilizadas são aquelas localizadas no intervalo de 0.4 MeV até 2.8 MeV, devido a maior liberação de energia e menos influência cósmica (Ward, 1981).

A Figura 1 mostra o espectro gama com as janelas de equilíbrio dos elementos radiogênicos no processo do decaimento radioativo dos três principais radioelementos.

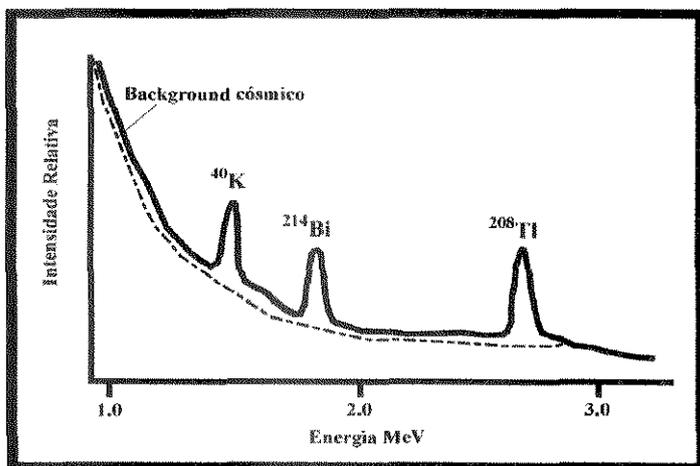


Figura 1 - Espectro de raios gama sobre fontes de K, U e Th.

Comportamento Geoquímico do K, U e Th

Os elementos radioativos K, U e Th ocorrem associados a vários tipos de rochas encontradas na litosfera (Kogan *et al.*, 1971). Essa associação com os vários litotipos demonstra que o comportamento geoquímico dos três radioelementos varia conforme as condições físico-químicas do ambiente de formação (Tabela 1).

O potássio apresenta uma concentração de 2,5% na crosta e é considerado um elemento móvel sob diferentes condições de temperatura e pressão. Ressalta-se a importância do K nas soluções hidrotermais e a influência deste elemento na emissão de 98% da radiação gama total dos radioelementos primários presentes na crosta terrestre. As rochas ígneas e metamórficas compostas por feldspato potássico, muscovita, biotita, sericita, flogopita, leucita e nefelina apresentam alto conteúdo deste elemento (Mares, 1984).

O urânio é um elemento abundante na crosta da terra e a sua ocorrência como mineral primário é observada em uma variedade de litotipos, como rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Porém, o urânio como elemento nativo não é observado na natureza, ocorrendo somente como U^{+4} , U^{+5} e U^{+6} associado a óxidos e a outros complexos (carbonatos, sulfatos, fosfatos, arsenatos, silicatos e vanadatos).

Segundo Adams & Gasparini (1970), o urânio tetravalente tende a se concentrar no líquido residual durante os estágios de diferenciação magmática. O urânio hexavalente pode acompanhar as fases voláteis e escapar do magma mais evoluído.

A radioatividade das rochas metamórficas depende basicamente das características da rocha primária. Entretanto, com a introdução de fluídos metamórficos, a quantidade do urânio pode aumentar ou reduzir.

O conteúdo de urânio nas rochas sedimentares está relacionada ao tipo de material original depositado e ao ambiente de deposição. O urânio é um elemento solúvel em condições oxidantes, podendo ser transportado e precipitado em ambiente redutor. Cabe ressaltar, que os sedimentos marinhos são mais radioativos que os sedimentos continentais (Nash *et al.*, 1981).

O tório em ambiente redutor ocorre sob a forma tetravalente, porém em condições oxidantes, é um elemento relativamente insolúvel. A concentração do tório durante a evolução das rochas ígneas é maior em relação ao urânio, pois o tório tende a permanecer até os estágios

finais da evolução magmática. Superficialmente, o tório está concentrado em minerais resistentes como o zircão ou adsorvido em argilominerais.

Tipo de rocha	K %	U ppm	Th ppm
Ultrabásica	0,03	0,003	0,005
Básica	0,7	1,0	4,0
Intermediária	2,3	1,8	7,0
Granítica	2,5	3,0	12,0
Xisto	2,2	3,7	12,0
Arenito	1,0	0,5	1,7
Carbonato	0,25	2,2	1,7

Tabela 1 – Concentração média de potássio, urânio e tório nos diversos litotipos representativos (Modificado de Ward, 1981).

MAGNETOMETRIA

A magnetometria detecta alterações no campo magnético terrestre, causadas por concentrações de minerais como a magnetita, hematita, titanomagnetitas e ilmenita. As anomalias magnéticas são geralmente produzidas pelo contraste do magnetismo dos minerais e pela variabilidade das densidade das rochas. Desta forma, o contraste lateral das anomalias podem sugerir limites entre unidades litológicas que apresentam composições geoquímicas distintas e/ou feições estruturais.

O aspecto teórico detalhado da magnetometria pode ser encontrado nos trabalhos de Wright (1981), Mares (1984), Robinson & Çoruh (1988) e Dobrin & Savit (1988).

Magnetismo dos Materiais

Existem três tipos de comportamento magnético dos materiais quando são submetidos ao campo magnético: (i) diamagnetismo, quando o material adquire a magnetização e age no sentido

contrário ao campo magnético; (ii) paramagnetismo, o material é atraído devido ao mesmo sentido de magnetização do campo magnético; e (iii) o ferromagnetismo, onde o material tem grande capacidade de magnetização agindo no mesmo sentido do campo magnético.

A magnetização observada nas rochas deve-se aos minerais ferromagnéticos (magnetita, hematita, titanomagnetitas e ilmenita). Portanto, as rochas máficas em geral apresentam alta susceptibilidade magnética, e as rochas sedimentares apresentam os menores valores de susceptibilidade magnética.

É importante ressaltar que as rochas que contêm os minerais ferromagnéticos, apresentam dois tipos de magnetização (induzida e remanescente). A magnetização induzida é provocada pelo campo magnético atual da Terra, e a remanescente é adquirida com a evolução geológica das rochas.

Desta forma, o mesmo tipo litológico pode apresentar comportamento magnético diferenciado por causa da magnetização remanescente, pois o processo de geração da rocha influencia no comportamento magnético do corpo.

SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido como sendo um método que utiliza da energia eletromagnética para adquirir informações sobre objetos e fenômenos observados na superfície da Terra, sem que haja contato físico (Novo 1992).

Um dos principais meios de obtenção de tais informações são os sensores orbitais, como o sistema Landsat/TM-5. O Landsat/TM-5 mede a energia solar refletida na região do visível ao infravermelho de ondas curtas e no infravermelho termal. A resolução espacial deste sensor é de 30 metros, com largura da faixa imageada de 185km. Apenas no canal do infravermelho termal a resolução da imagem é de 120 metros. Informações pormenorizadas do sistema Landsat-5/TM e as características das 7 bandas multiespectrais obtidas por este sistema podem ser encontradas em Drury (1987), Lillesand & Kiefer (1994) e Sabine (1996).

Aplicação do Sensoriamento Remoto na Geologia

A utilização do sensoriamento remoto no meio geológico baseia-se no reconhecimento, se possível, das características espectrais de cada mineral ou rocha para a discriminação litológica contribuindo na identificação de possíveis zonas mineralizadas, e das características espaciais que consistem basicamente na análise das feições lineares, tendo em vista a caracterização estrutural da região.

Os minerais possuem características químicas e estruturas cristalinas específicas, as quais resultam em assinaturas espectrais distintas geradas pela absorção e ou reflexão da radiação solar. A análise espectral das rochas são mais complexas em relação aos minerais, principalmente devido a diversidade na sua composição mineralógica. Na literatura existe uma grande quantidade de trabalhos que ilustram o comportamento espectral dos minerais e das rochas. Dentre estes trabalhos destacam-se: Hunt & Salisbury (1970), Hunt & Salisbury (1976), Blom *et al.* (1980), Bair (1984) e Clark *et al.* (1993).

A partir da análise das características espectrais dos minerais e rochas de interesse, técnicas de processamento digital de imagens (PDI) são implementadas para realçar as informações espectrais contidas nas imagens de satélite. Inúmeros trabalhos versam sobre os aspectos teóricos do processamento digital de imagens e a sua aplicação no meio geológico (Novo 1992, Crósta 1993, Prost 1994, Sabine 1996).

O estudo dos lineamentos observados em imagens de satélite tem contribuído cada vez mais na identificação de depósitos minerais formados por processos tectônicos e na caracterização do arcabouço estrutural em mapeamentos geológicos regionais. Prost (1994) ressalta a importância do reconhecimento dos lineamentos para a geração de mapas estruturais, cuja integração com os dados observados em superfície ou em subsuperfície (dados sísmicos, magnéticos e gravimétricos) podem fornecer informações quanto a áreas alvos para a pesquisa e prospecção de bens minerais.

Os lineamentos são expressões topográficas e tonais que geralmente refletem um *fabric* estrutural geral com foliações, juntas e fraturas. A extração vetorial dos lineamentos em imagens de satélite, bem como a sua análise, exige três cuidados primordiais: (1) A questão da diferenciação das feições retilíneas de origem estrutural daquelas de origem antrópica; (2) as feições retilíneas não discriminam a idade de deposição do minério. Desta forma, estruturas

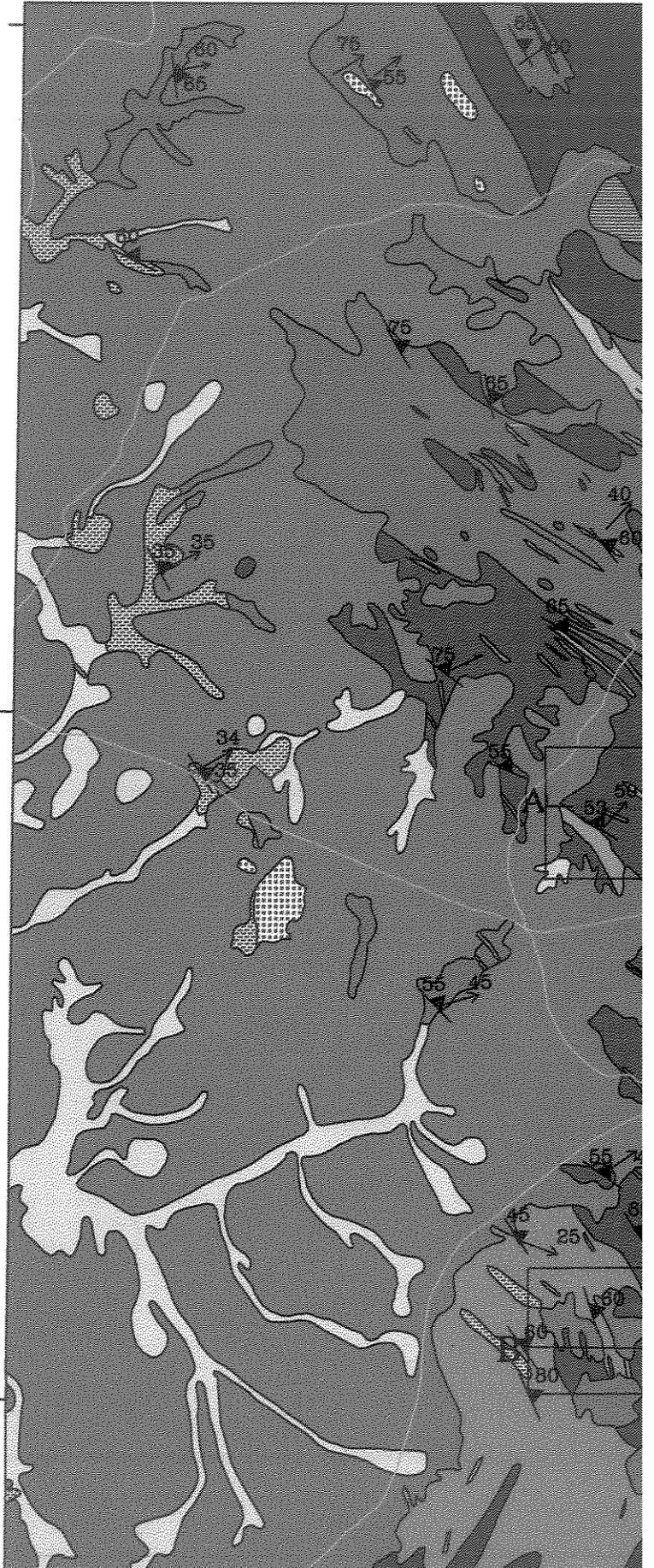
formadas após a mineralização dificilmente são distinguidas daquelas que se formaram antes; e (3) as imagens de satélite podem realçar zonas estruturais regionais sugerindo a localização dos depósitos minerais, porém dificilmente podem identificar as estruturas locais que controlaram a concentração dos minérios desses depósitos (Rowan & Bower, 1995 *apud* Sabine, 1996).

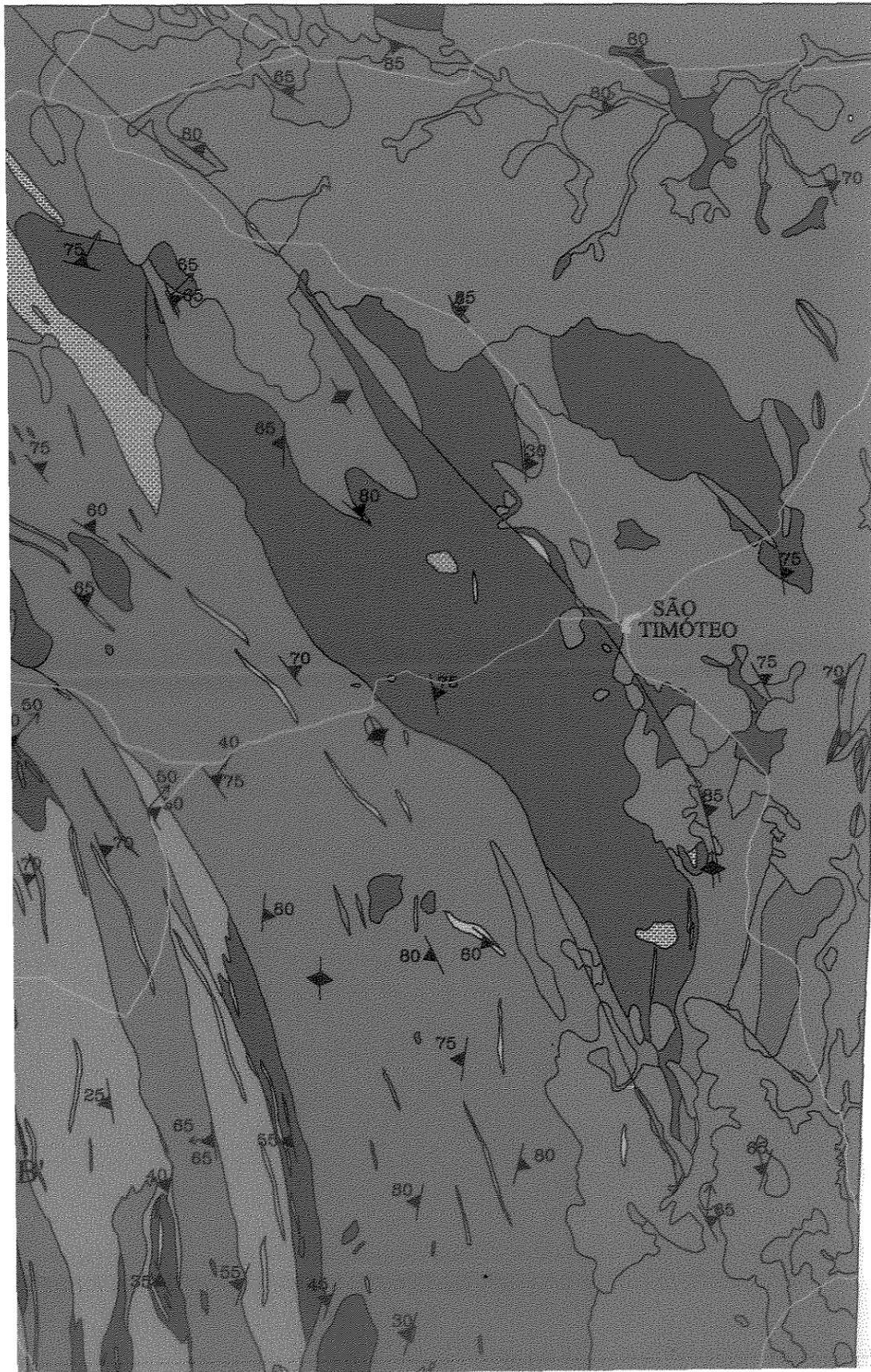
ANEXO 1

8.478.000

8.468.000

8.458.000





UNIDADES LITOLÓGICAS

QUATERNÁRIO

 Formações alúvio-coluvionares

TERCIÁRIO

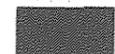
 Coberturas detríticas areno-argilosas

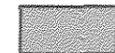
PALEO A MESOPROTEROZÓICO

COMPLEXO GRANITO-GNÁISSICO LAGOA REAL

 Anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina augen gnaisse

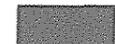
 Anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaisse com estrutura ondulada

 Anfibólio-quartzo-plagioclásio-microclina gnaisse fitado

 Plagioclásio augen gnaisse

 Plagioclásio gnaisse fitado

 Gnaiss silicificado

 Charnoquito

 Leucodiorito

 Anfibolito

 Albititos

 Granito São Timóteo

 Granito com granulação média, foliado

 Granito fino, foliado

COMPLEXO IBITIRA-BRUMADO

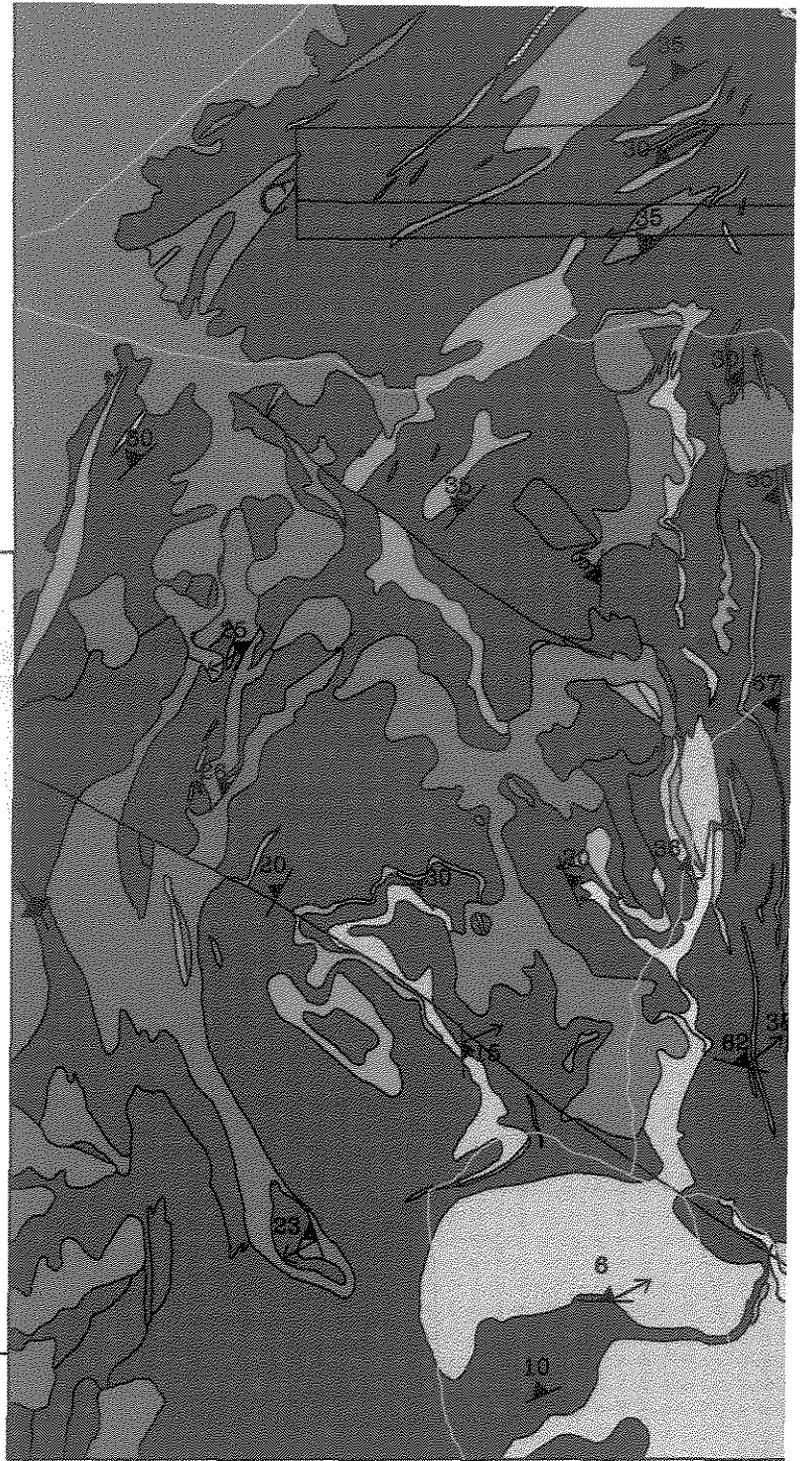
 Quartzito

 Rochas calciossilicáticas

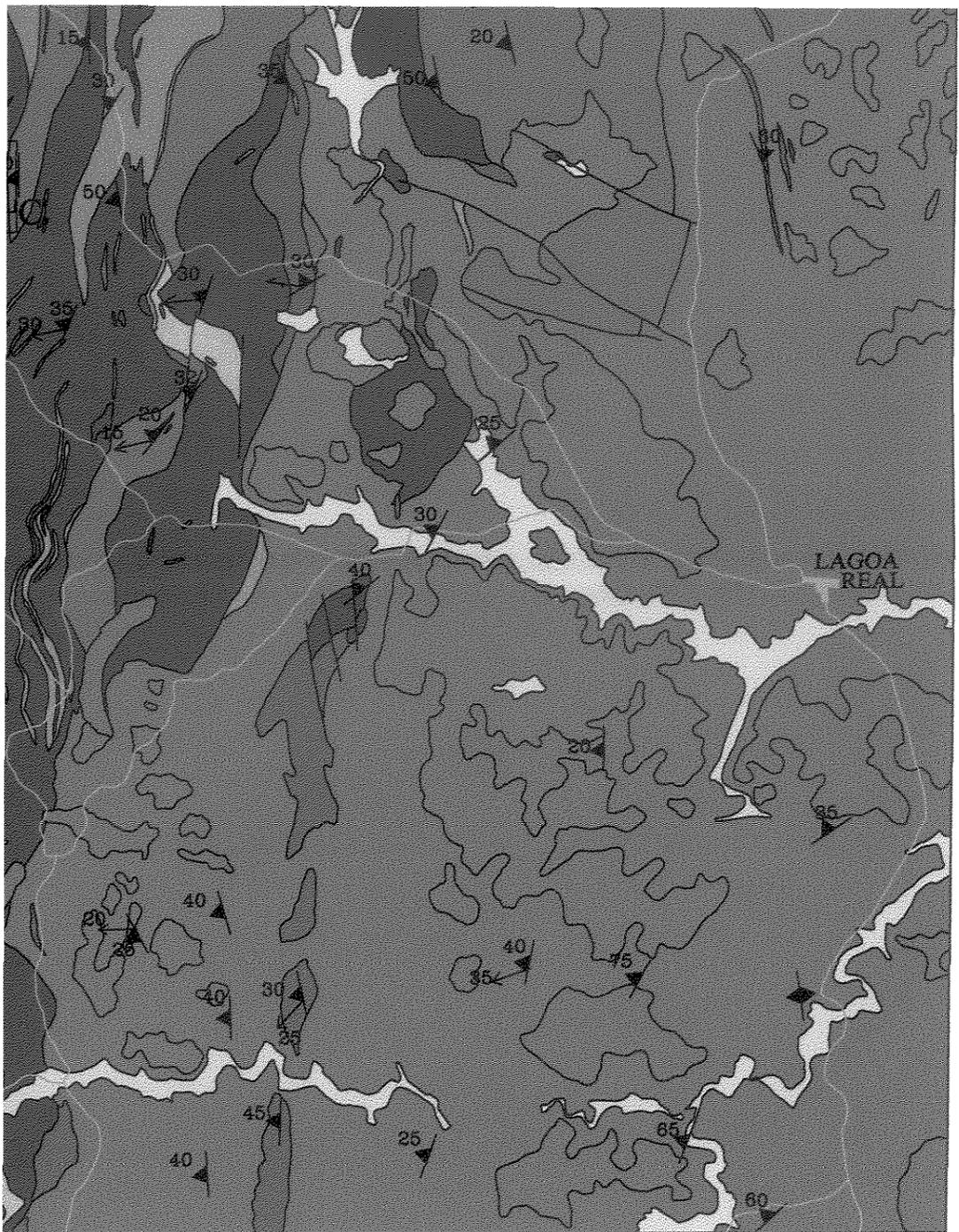
8.448.000

8.438.000

784.000



ANEXO 1 - MAPA GEOLÓGICO



797.000

810.000

ARQUEANO BLOCO PARAMIRIM

Gnaisses e migmatitos

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Cidades
- Estradas
- Janela indicando a direção do perfil radiométrico

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato definido
- Zona de cisalhamento
- Direção e mergulho da foliação
- Lineação

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

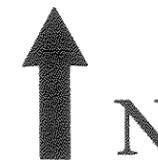
Lagoa do Barro	São Timóteo
Lagoa Grande	Tamboril
Mons. Bastos	Lagoa Real

Compilação do mapa geológico do Projeto Lagoa Real na escala 1:25.000 - 1985 - executado pela CBPM em convênio com a Nuclebrás. Folhas: Lagoa do Barro, São Timóteo, Lagoa Grande, Tamboril, Monsenhor Bastos e Lagoa Real.

0 2.000 4.000 6.000 8.000 m



Escala



GIÃO DE LAGOA REAL (BA)

Elaborado e compilado por Liliana Sayuri Osako

Parte integrante da tese de mestrado apresentado ao DMG-IG-UNICAMP