



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA

**Confecção em ambiente SIG de mapa geológico na escala de 1:50.000, a partir da integração de dados geológicos, aerogeofísicos e de sensoriamento remoto, da região de Amanaiara - Reriutaba, Folha Ipú, NW do Ceará.**

Belém  
2011

Raquel Pontes Nogueira

**Confecção em ambiente SIG de mapa geológico na escala de 1:50.000, a partir da integração de dados geológicos, aerogeofísicos e de sensoriamento remoto, da região de Amanaiara - Reriutaba, Folha Ipú, NW do Ceará.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Geologia, Universidade Federal do Pará.  
Área de concentração:  
Orientadora: Prof<sup>o</sup> Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu

Belém  
2011

Dados internacionais de catalogação-na-publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Pará, Belém – PA

---

N778 Nogueira, Raquel Pontes

Confecção em ambiente SIG de mapa geológico na escala de 1:50.000, a partir da integração de dados geológicos, aerogeofísicos e de sensoriamento remoto, da região de Amanaiara - Reriutaba, Folha Ipú, NW do Ceará. / Raquel Nogueira Pontes, 2011.

157f.

Orientador: Profº Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) –  
Universidade Federal do Pará / Belém, 2011.

1. Cartografia geológica. 2. Amanaiara - Reriutaba. 3. Província Borborema (CE). I. Abreu, Francisco de Assis Matos de. Título.

CDD 21. ed. 526.918

---

Raquel Pontes Nogueira

**Confecção em ambiente SIG de mapa geológico na escala de 1:50.000, a partir da integração de dados geológicos, aerogeofísicos e de sensoriamento remoto, da região de Amanaiara - Reriutaba, Folha Ipú, NW do Ceará.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Geologia, Universidade Federal do Pará.

Área de concentração:

Orientadora: Prof<sup>o</sup> Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu

Data de Aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>o</sup>. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu  
Dr. Em  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>o</sup>.  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>o</sup>.  
Universidade Federal do Pará

*Aos meus pais,*

***Douglas Nogueira e Vanja Pontes Nogueira***

*e à minha irmã*

***Elaine Nogueira***

## AGRADECIMENTOS

*A construção deste Trabalho de Conclusão de Curso contou com a ajuda de várias pessoas, que aqui agradeço:*

*- A Deus, pelo dom gratuito da vida e a proteção ao longo dela;*

*- A minha família, dedicando assim, este trabalho e meu amor;*

*- Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu por estes mais de cinco anos de apoio, paciência e valorosa contribuição na graduação, e por sua amizade;*

*- A Universidade Federal do Pará (UFPA) juntamente com o Instituto de Geociências (IG), que ofereceram condições necessárias para a realização deste trabalho;*

*- Aos amigos Débora Aguiar, Verena Torres, Camila Nascimento, Paulo Henrique Lima e Hudson Pereira, pelas inestimáveis ajudas ao longo da graduação e pela amizade criada ao longo dos anos da graduação;*

*- As amigas da Geologia, Carla Santos, Indy Favacho, Joseanna Santos, Kamilla Amorim e Kellen Katucha;*

*- A mestre Márcia Valadares, pelas várias sugestões, revisões, discussões e por sua amizade;*

*- Ao mestre Osmar Guedes, por todos os momentos em que me ajudou na confecção de mapas, coleta e montagem de imagens;*

*- A César Diniz, pela grande ajuda no ENVI;*

*- A Wilson Rocha pela ajuda no mapa;*

*- Ao técnico administrativo Afonso Quaresma, pelo apoio logístico durante as etapas de campo e por sua amizade;*

- À Profa. Dr. Rosemary Nascimento, aos Professores Doutores Netuno Villas, Cândido Moura, Paulo Gorayeb, Maurício Borges, Vladimir Távora e a todo o grupo de professores da graduação;

- Aos integrantes do Laboratório de Cartografia Geológica (GEOCART-IG-FAGEO), João Paulo Almeida, Marcela Maracaípe, Maurício Jorge, Renato Sol, Almir Costa e Jefferson Souza.

- E a todos os meus amigos fora do ambiente da UFFPA, especialmente às grandes amigas Náhislá Macedo, Thalita Negrão, Bruna Souza, Adriana Leão e ao amigo Wellington Cavalcante.

## RESUMO

A região noroeste do Ceará compreende terrenos pertencentes aos Domínios Médio Coreaú e Ceará Central da Província Borborema. O estudo realizado nessa região, na qual se enquadra a região de Amanaiara - Reriutaba (SB-24-V-A-III- 2) em escala de 1: 50.000, procurou contribuir para o avanço do seu conhecimento geológico. Para isso, inicialmente foi realizada a sistematização de dados e informações geológicas pré-existentes a partir de um extensivo acervo de trabalhos realizados pelo IG/UFPA, desde a década de 1980. A interpretação digital de produtos de sensoriamento remoto, como imagens do satélite LANDSAT-5/TM (ThematicMapper) e do Radar SRTM, que foram utilizadas como base da cartografia e topografia, auxiliou na delimitação de unidades geológicas. Todos esses procedimentos foram realizados utilizando-se os softwares ENVI e ArcGis 9.3. Nas imagens LANDSAT foram aplicadas técnicas de realce, filtragem, transformação por componentes principais e transformação IHS, as quais permitiram complementar os resultados da interpretação visual. O uso de imagens de sensores remotos digitais (satélites) tem demonstrado grande utilidade em levantamentos e pesquisas geológico-ambientais. A vantagem do emprego de tais técnicas de sensoriamento remoto se deve à sua maior abrangência de área de investigação por imagens e à sua grande qualidade em termos de resolução espacial, possibilitando uma gama de recursos através de operações entre bandas eletromagnéticas. Os dados aerogeofísicos do Projeto Rio Acaraú de 1974, foram processados na Dissertação de Mestrado de Santos (2009), a qual considerou uma parte expressiva da região noroeste do Ceará, utilizando o software Oásis Montaj, e consistiram basicamente na interpolação dos dados (125m), micronivelamento e a geração dos temas transformados, como: imagens do campo magnético anômalo, das derivadas horizontais (dx e dy) e verticais (dz), amplitude do gradiente horizontal, amplitude do sinal analítico, inclinação do sinal analítico, e imagens dos canais de K, U, Th e CT e imagens ternárias (RGB e CMY). Com os resultados obtidos, com esse processamento foi feito o recorte da área desse Trabalho de Conclusão de Curso e a sua respectiva interpretação. A interpretação dos produtos de sensoriamento remoto e aerogeofísicos, associadas ao mapeamento geológico na escala de 1:50.000 de Amanaiara - Reriutaba permitiram a caracterização lito-estrutural dessa importante região nordestina. Com

base nos objetivos propostos nesta pesquisa e na metodologia utilizada para a execução da mesma, foi produzido um mapa geológico enriquecido com o aporte de elementos revelados pela análise integrada de todos os produtos considerados. O trabalho demonstra a importância de se utilizar as chamadas “geotecnologias” para a cartografia geológica, tornando os mapas produzidos mais ricos e mais confiáveis, fornecendo também informações que podem ser disponibilizadas de maneira rápida, uma vez que todos os produtos resultantes deste trabalho encontram-se no formato digital.

Palavras-Chave: Cartografia geológica. Amanaiara – Reriutaba. Província Borborema (CE).

## ABSTRACT

The northwest region of the Ceará State comprises terrains that belong to MédioCoreaú and Ceará Central Domains from Borborema Province. The study realized in this area, where is located the Amanaiara – Reriutaba region (SB-24-V-A-III-2) in the scale of 1:50.000, tried to contribute to the advance of its geological knowledge. For this, initially it was prepared a systematization of the data and pre-existing geological information from an extensive collection of studies realized by the Institute of Geosciences from Federal University of Pará since the 1980's. The digital interpretation of the products of remote sensing, as LANDSAT-5/TM (Thematic Mapper) and SRTM radar images, which were used as the cartography and topography basis, helped in the geological unit's delimitation. All these procedures were realized using the ENVI and ArcGis 9.3 softwares. In the LANDSAT images, it was applied the enhancement, filtering, transformation for main components and IHS transformation techniques, which permitted to complete the results of visual interpretation. The use of digital remote sensors images (satellites) has demonstrated a great utility in geological-environmental survey and research. The advantage of such techniques is due its wider coverage area of investigation for images and its high quality in terms of spatial resolution, enabling a range of resources through transactions between electromagnetic bands. Aerogeophysical data from Rio Acaraú Project (1974) were processed in the master dissertation of Santos, M.A. (2009), which considered an expressive part of the northwest region of Ceará, utilizing the software OásisMontaj, and consisted basically in data interpolation (125m), microleveling and generation of the transformed themes, as images of the anomalous magnetic field of the horizontals (dx and dy) and vertical (dz) derived, horizontal gradient amplitude, analytic signal amplitude, analytical signal slope and images of the channels of K, U, Th and CT, and ternary images (RGB and CMY). With the results obtained with this processing, the area of this graduation conclusion work was chosen and interpreted. Interpretation of remote sensing and geophysical products, associated to geological mapping in scale of 1:50.000 of Amanaiara – Reriutaba region, allowed the litho-structural characterization of this important region of the Northeast. Based on the proposed objectives in this research and the methodology used for its implementation, a geological map was produced

and enriched with the elements revealed by integrated analysis of all products considered. The study demonstrates the importance of using so-called “geotechnologies” for geological cartography, making the maps produced richer and more reliable, and also providing information that can be available quickly, since all products from this work are in the digital form.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapa 01 - Mapa de Localização da área de trabalho, com destaque para as áreas dos Estágios Amanaiara e Reriutaba, respectivamente em amarelo e vermelho. Em verde, está localizado o estágio de Ipueiras.....	24
Imagem 01: imagens de satélite LANDSAT.....	27
Imagem 02 - Imagem do satélite LANDSAT.....	31
Imagem 03 - Exemplo de uma imagem simples (cruz), mostrada a direita em sua forma digital, como uma matriz numérica. Nesta, cada cela ou “pixel” possui uma localização definida por linha e coluna e o valor de cinza correspondente, que varia de 0 (preto) a 255 (branco).....	32
Imagem 04 - A) imagem com resolução radiométrica de 1bit (2 níveis de cinza apenas); B) imagem com resolução radiométrica de 5bits (32 níveis de cinza).....	33
Histograma 01 - (1) Histograma Unidimensional; (2) Histograma Multidimensional..	34
Imagem 05. A) mostra o espaço de cores RGB; e B) mostra o espaço IHS.....	41
Imagem 06. A imagem é formada por pixels, que é intersecção da linha e da coluna em coordenadas e um ND associado com sua reflectância ou emitância.....	42
Imagem 07 – Curvas de resposta espectral padrão do solo, da vegetação saudável e da água.....	44
Mapa 02 – Área recoberta pelos mapas geológicos dos Estágios de Campo II.....	50
Mapa 03 – Mapa com os dois estágios: Reriutaba – Amanaiara.....	51
Imagem 08 - Estruturação do banco de dados da Folha Ipu, onde está inserida a região de Amanaiara- Reriutaba, confeccionados no Base Aflora.....	52
Mapa 04 - Mapa Geológico da Província Borborema com subdivisão em domínios tectônicos e estruturas. Zonas de cisalhamento: Sobral-Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós-Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Pauí-JoãoCamara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo-Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá-Itaíba (JI), Macururé - Riacho Seco (MR), Belo Monte - Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); ‘Nappes’ da Faixa Riacho do Pontal (RP).....	57
Mapa 05 - Domínios estruturais da Província Borborema.....	58
Mapa 06 – Localização dos domínios da Província Borborema com destaque para os domínios Médio Coreaú e Ceará Central que estão presente na área de trabalho...	59
Fluxograma 01 - Fluxograma do trabalho feito por sensoriamento remoto.....	60

Imagem 09 – Recorte da Imagem Geocover 2000 da área do trabalho, utilizando as bandas 543.....	62
Imagem 10 - Razão das bandas 7-1 5-1 3-1 com separação litológica.....	64
Imagem 11 - Razão das bandas 3-1 4-2 5-7 com separação litológica.....	65
Imagem 12 - Composição das bandas 7, 3 e 2, com separação litológica.....	66
Imagem 13 - Composição das bandas 5, 3 e 1 com a separação litológica.....	67
Imagem 14 – Banda 4 antes do realce de contraste.....	68
Histograma 02 – Histogramas da banda 4 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.....	69
Imagem 15 – Banda 4 depois do realce de contraste e separação litológica.....	69
Imagem 16 - Banda 5 antes do realce de contraste.....	70
Histograma 03 – Histogramas da banda 5 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.....	70
Imagem 17 – Banda 5 depois do realce de contraste e separação litológica.....	71
Imagem 18 - Banda 7 antes do realce de contraste.....	72
Histograma 04 – Histogramas da banda 7 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.....	72
Imagem 19 – Banda 7 depois do realce de contraste e separação litológica.....	73
Mapa 07 – Composição colorida 753.....	74
Mapa 08 – Composição colorida 752.....	75
Mapa 09 – Composição colorida 732, para ressaltar a geologia.....	76
Mapa 10 - Composição colorida 531, para ressaltar a geologia.....	77
Mapa 11 - Composição colorida 321.....	78
Mapa 12 - Transformação IHS das bandas 345.....	80
Mapa 13 - Transformação IHS das bandas 543.....	81
Mapa 14 - Localização do Projeto Aerogeofísico Rio Acaraú.....	83
Histograma 05 - Perfil do campo magnético anômalo para método da quarta derivada.....	84
Mapa 15 - A) Mapa de Linhas de vôo; B) Perfil Rebatido.....	85

Imagem 20 - A) Método <i>Splines</i> Bi-Cúbicos; B) Método Curvatura Mínima.....	85
Imagem 21 - A) Antes do micronivelamento; B) depois do micronivelamento.....	86
Mapa 16- Derivada Vertical (DZ).....	87
Mapa 17 - Mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA).....	88
Mapa 18 - Mapa radiométrico do ISA com os valores.....	88
Imagem 22 - Bloco Diagrama da Região de Amanaiara- Reriutaba, com as principais unidades geomorfológicas.....	90
Mapa 19 – Mapa radiométrico do canal K.....	92
Mapa 20 - Mapa radiométrico do canal K com os valores.....	92
Mapa 21– Mapa radiométrico do canal U.....	94
Mapa 22 - Mapa radiométrico do canal U com os valores.....	96
Mapa 23 – Mapa radiométrico do canal Th.....	96
Mapa 24 - Mapa radiométrico do canal Th com os valores.....	98
Mapa 25 – Mapa radiométrico do canal CT.....	98
Mapa 26 - Mapa radiométrico do canal CT com os valores.....	99
Fluxograma 02 - Fluxograma dos métodos de investigação adotados a partir de dados magnetométricos e gamaespectrométricos: DZ – primeira derivada vertical do campo magnético anômalo; ISA – intensidade do sinal analítico; CT – canal da contagem total (cps), RGB – composição ternária das imagens de K (%), eTh e eU, respectivamente, nos canais vermelho-verde e azul.....	101
Diagrama 03 - Diagrama Pressão-Temperatura mostrando os campos das várias fácies metamórficas.....	105
Fotografia 21 - Estrutura dos migmatitos identificados na área: 1) estromática ou acamadada, caracterizada por conter diferentes quantidades de leucossoma sob forma de segregações em gnaisses produzidos <i>in situ</i> (PR-I-31) 2) dobrada e 3) <i>schlieren</i> , caracterizada por segregações ricas em biotitas. As origens de formas variadas podem ser entendidas quando um complexo de rochas submetido a metamorfismo e posteriormente a anatexia é formado por diferentes sedimentos (PR-I-18).....	107
Imagem 24 - Terminologia para rochas associadas a falhas. Na área foram encontrados dois tipos de milonitos: 1) protomilonitos e 2) ortomilonitos.....	108

Figura 01 - Coluna litoestratigráfica proposta para a área do trabalho.....	111
Figura 02 – Processos colisionais envolvendo: crosta oceânica com crosta oceânica e crosta oceânica com crosta continental.....	112
Figura 03: “Anel de fogo do Pacífico” com a concorrência de vários arcos magmáticos e zonas de subducção.....	113
Figura 04 – Modelo hipotético de formação de rift com deposição posterior de sedimentos no domínio marinho (formação dos protólitos da sequência Martinópolis-Ubajara): a) formação de rifts primários; b) abertura de um proto-oceano, com deposição das primeiras sequências marinhas e vulcanismo associado, estruturação principal durante o Paleoproterozóico, arcos magmáticos e sequências sedimentares representadas por kinzigitos e quartzitos ; c) oceano propriamente formado, com sequências marinhas individualizadas.....	117
Figura 05 – Configuração provável da distribuição dos blocos continentais após a quebra do Supercontinente Rodínia. Modificado de Rogers (1996).....	118
Figura 06 – Blocodiagrama ilustrando o ambiente colisional que propiciou a formação das rochas do complexo Ceará na área de estudo.....	119
Figura 07 – Modelo esquemático para evolução do Gráben Jaibaras: a) Deposição da sequência Massapê-Pacujá; b) formação do rift; c) evolução do rift e vulcanismo associado; formação do Gráben Jaibaras, com aprisionamento dos sedimentos de sequência Massapê-Pacujá, intrusões graníticas e vulcanismo; e Inversão do Gráben.....	121
Figura 08 – Paleografia do Supercontinente Gondwana a 530 milhões de anos, durante a consolidação da Gráben de Jaibaras.....	122
Figura 09 - Coluna litoestratigráfica proposta para a área do trabalho.....	103
Figura 10 - (A) Gnaiss com bandamento (PR- I – 18)- (B) Gnaiss com foliação milonítica, evidente pelos cristais quartzo-feldspáticos estirados (PR – I – 51).....	105
Figura 11 – Veio de quartzo cortando discordantemente os bandamentos dos biotita-gnaiss (afloramento PR-V-14). A seta em vermelho indica o Norte.....	106
Figura 12 – Bandamento composicional bem definido nos biotita gnaisses, composto por porfiroclastos de feldspato potássico na forma de ocelos.....	106
Figura 13 – Afloramento PR-IV-69 de um sillimanita-biotita gnaiss com bandamento composicional bem definido.....	108
Figura 14 – Anfibólio-biotita gnaisses (PR-IV-29) mostrando textura nebulítica.....	109
Figura 15 – Bandamento incipiente em anfibólito cinza-escuro (PR-V-049).....	110
Figura 16 – Detalhe da porção anfibolítica concordante com o plano da foliação milonítica do sillimanita gnaiss (EAM-III-38).....	110
Figura 17 - Amostra de mão de mármore da Unidade Independência.....	113

Figura 18 - Mapa Geológico do Granodiorito Anil. Modificado de Gorayeb <i>et al</i> (1994) Gorayeb <i>et al.</i> (1994).....	114
Figura 19 - Granodiorito Anil (PR-IV-57) mostrando enclave de composição diorítica.....	115
Figura 20 - Granodiorito Anil (PR-IV-30) mostrando foliação incipiente.....	115
Figura 21 – Detalhe à esquerda mostrando textura granular do maciço com cristais bem desenvolvidos. E à direita nota-se a presença de concentrações máficas sob forma ocelar neste corpo.....	116
Figura 22 - Figura mostrando claramente injeções de veios graníticos (PR-I-44)...	116
Figura 23 - Fácies conglomerado polimítico brechóide da Formação Massapê.....	118
Figura 24 - Aspecto geral de campo de conglomerado da Formação Massapê.....	118
Figura 74 - Afloramento em forma de blocos típicos dos arenitos da Formação Pacujá.....	120
Figura 25 – Arenito fino da Formação Pacujá exibindo acamamento e laminações plano-paralela com mergulho baixo para SE.....	120
Figura 26 - Afloramentos dos arenitos do Grupo Serra Grande, que formam a Serra da Ibiapaba, (A) e (B) mostram exposições em cortes de estrada ao longo da CE-129, nas proximidades do Km 07, sentido Guaraciaba do Norte – Reriutaba. (C) foto de detalhe que ressalta o arenito grosso moderadamente selecionado. (PR-I-64 / PR-I-65).....	123
Figura 27 - Aspecto macroscópico e microscópico dos litoarenitos conglomeráticos. (a) Contato entre o nível conglomerático (PR-V-57B) e o arenito maciço (PR-V-57C); (b) Porção basal do litoarenito conglomerático polimítico exibindo cascalhos de composição variada.....	124
Figura 28 - Aspecto macroscópico dos depósitos coluvionares gerados por arenitos conglomeráticos polimíticos.....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Aplicação das bandas Landsat.....	37
Tabela 02 - Relatórios resgatados dos Estágios de Campo II executados na região de Reriutaba - Amanaiara.....	49
Tabela 03 - lista das amostras laminadas, com suas respectivas paragêneses e protólitos dos litotipos. Abreviações: Bt: biotita; Ms: muscovita; Qz: quartzo; Pl: plagioclásio; Gr: granada; Hb: hornblenda; Kf: feldspato potássico; Ep: epídoto; Opc: opacos; Tit: titanita. Fonte: Acervo da disciplina estágio de Reriutaba, equipe V.....	105

## LISTA DE SIGLAS

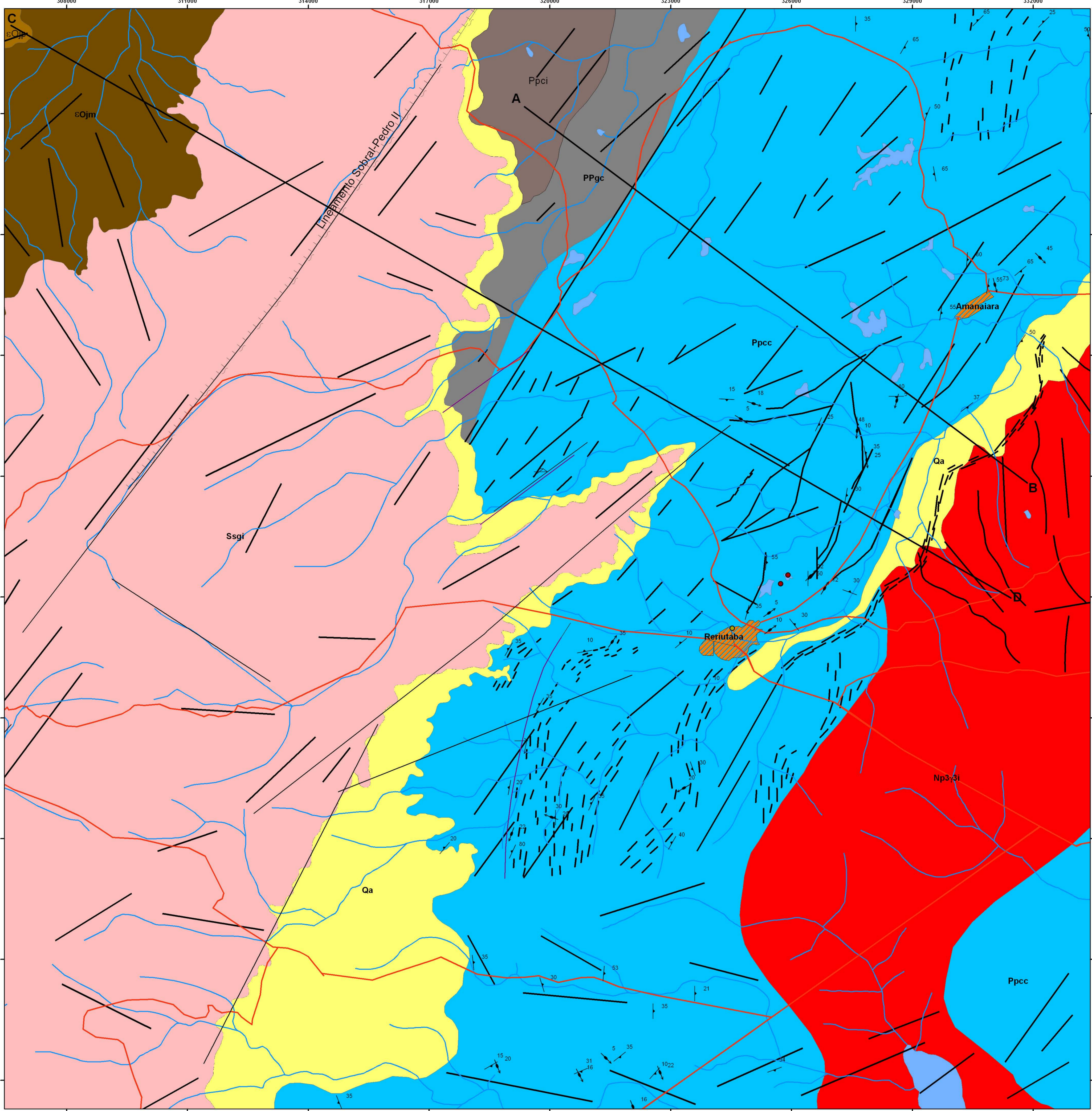
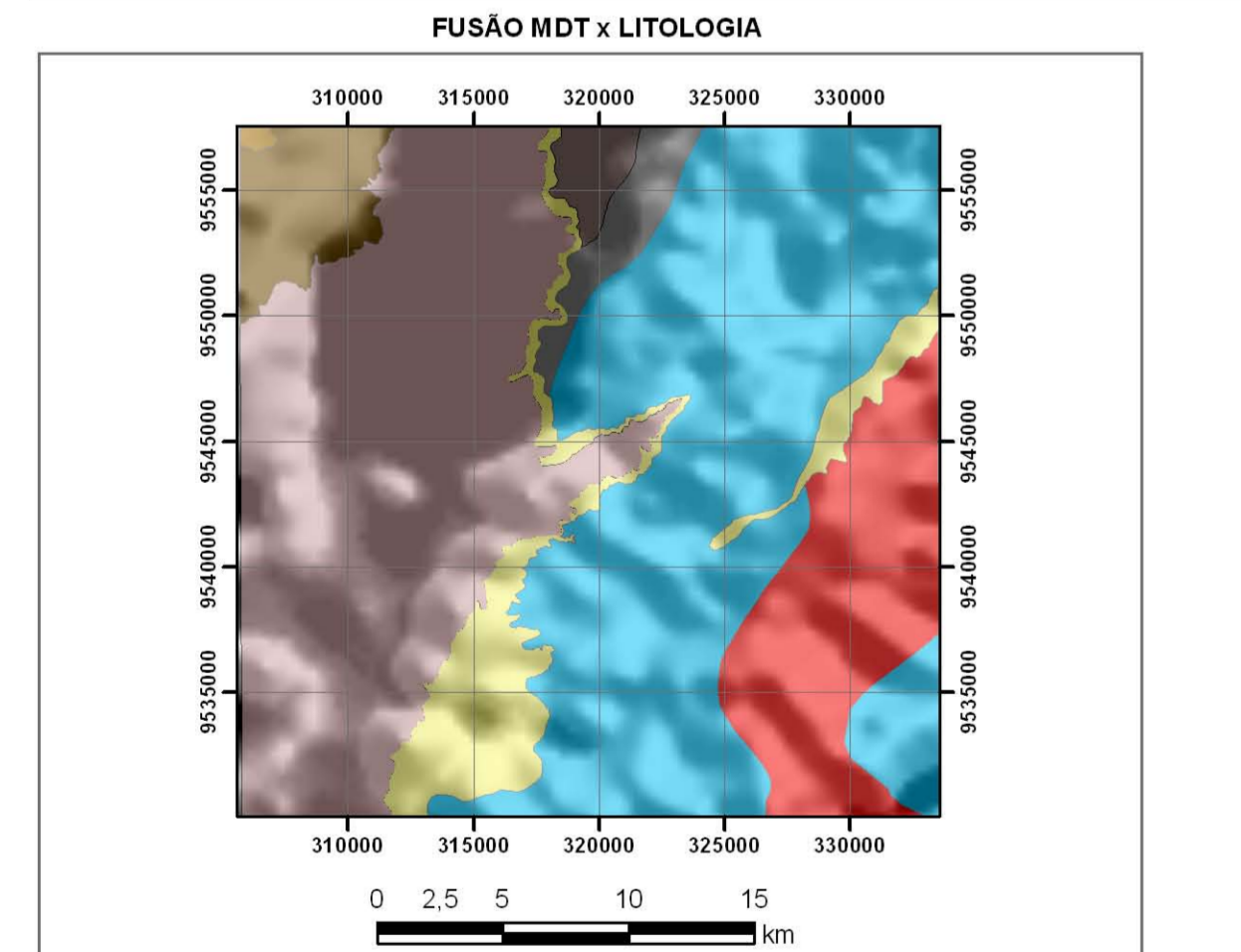
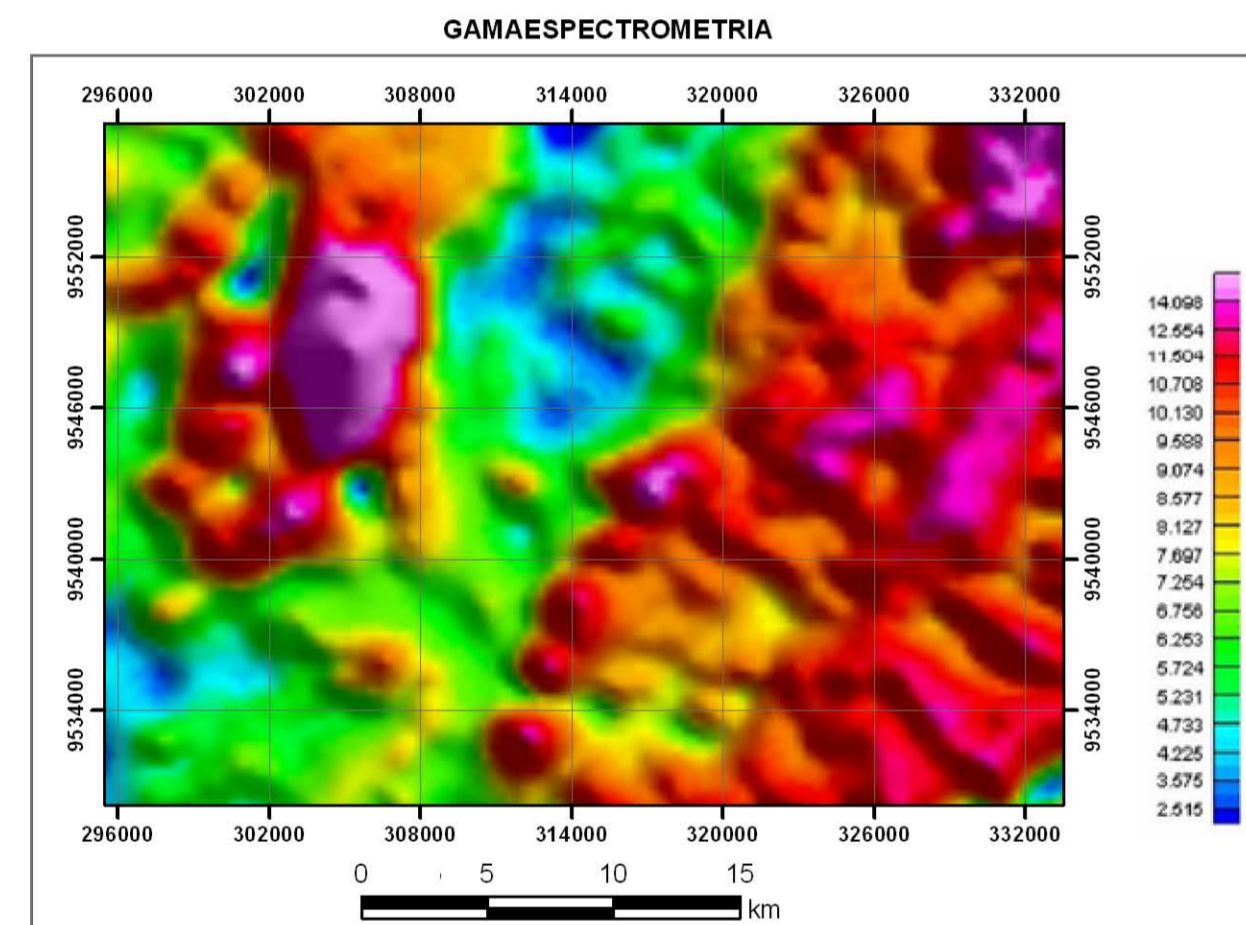
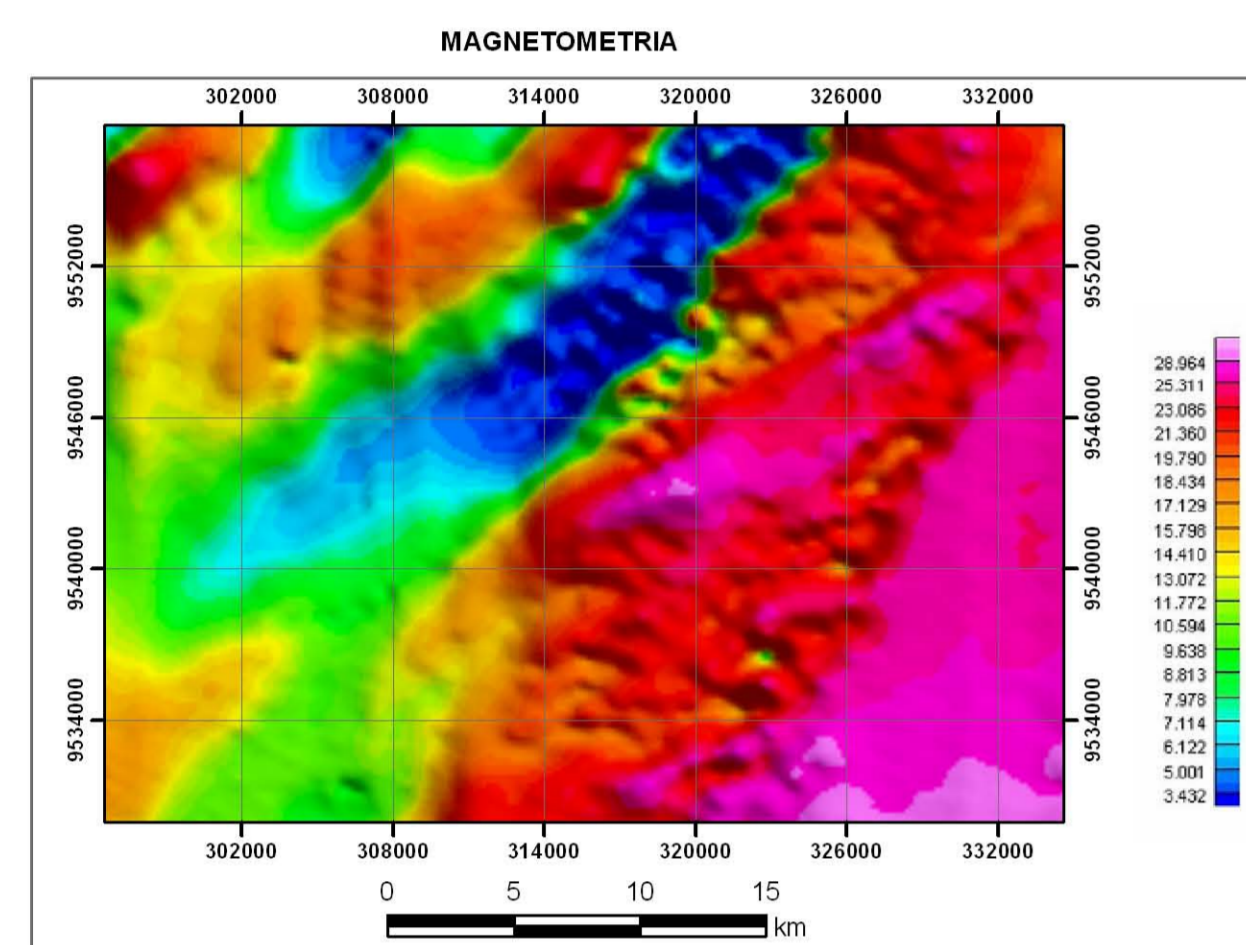
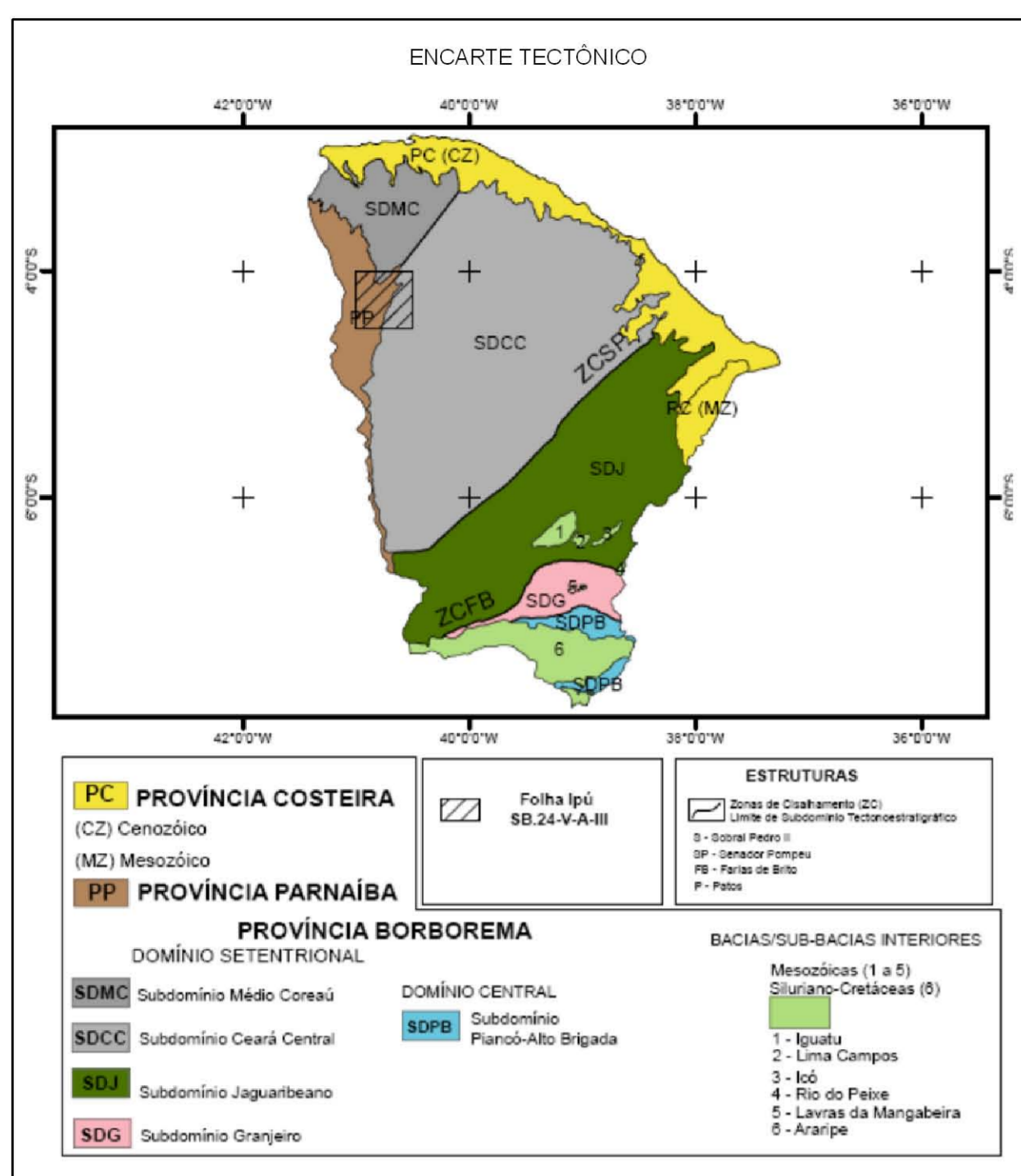
SRTM - Radar <i>Shuttle Radar TopographyMission</i> .....	21
SIG - Sistema de Informação Geográfica .....	21
IG/FAGEO - Instituto de Geologia/faculdade de Geologia .....	22
CPRM - Serviço Geológico do Brasil.....	22
GEOCART - Laboratório de Cartografia Geológica.....	25
SR – Sensoriamento Remoto.....	28
ETM - <i>EnhancedThematicMapper</i> .....	30
LANDSAT - LAND SATellite.....	30
PAN – Pancromático.....	30
DN - Digital Number.....	32
PDF – ProbabilityDensityFunction.....	33
VIS - Faixa do visível; NIR= Faixa do Infravermelho próximo.....	37
MIR - Faixa do infravermelho médio; TIR= Faixa do Infravermelho termal.....	37
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.....	29
PDI - Processamento Digital de Imagens.....	60
RGB - acrossemia de Red, Green, Blue.....	34
IHS - acrossemia de Intensity, Hue, Saturation.....	40
DZ - derivada vertical.....	46
ISA - inclinação do sinal analítico.....	87

## SUMARIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>22</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 GERAL.....	23
3.2 ESPECÍFICOS.....	23
<b>4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO.....</b>	<b>24</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
5.1 MATERIAIS.....	25
5.2 MÉTODOS E ATIVIDADES.....	25
5.3 <i>DOWNLOAD</i> DA IMAGEM E PLANEJAMENTO DA AQUISIÇÃO DE DADOS.....	26
<b>6 SENSORIAMENTO REMOTO.....</b>	<b>28</b>
6.1 BREVE HISTÓRICO.....	28
6.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E SATÉLITE LANDSAT.....	30
<b>6.2.1 Conceitos e técnicas relacionadas.....</b>	<b>30</b>
6.3 ESTRUTURA DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	31
6.4 RESOLUÇÃO .....	32
6.5 HISTOGRAMA.....	33
6.6 CONTRASTE.....	34
6.7 COR.....	34
6.8 FILTRAGEM.....	35
6.9 CLASSIFICAÇÃO.....	35
6.10 CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	36
6.11 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS.....	36
6.12 IMAGENS LANDSAT TM.....	37
6.13 SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS).....	38
6.14 IMAGENS SRTM.....	39
6.15 PROCESSAMENTO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS.....	40
6.16 INTERPRETAÇÃO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS.....	41
6.17 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS: SOLOS, ROCHAS, ÁGUA E VEGETAÇÃO.....	42
6.18 GEOFÍSICA AÉREA.....	44
6.19 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	45
6.20 AEROMAGNETOMETRIA.....	45
6.21 GAMAESPECTROMETRIA.....	46
<b>7 GEOPROCESSAMENTO.....</b>	<b>48</b>
7.1 INTEGRAÇÃO E REINTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS PRÉ-EXISTENTES.....	48
7.2 CATALOGAÇÃO DE ACERVO TÉCNICO.....	48
<b>8 BANCO DE DADOS EM MEIO DIGITAL.....</b>	<b>52</b>
8.1 BASE AFLORA.....	52

<b>9 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS DO MUNICÍPIO DE RERIUTABA.....</b>	<b>54</b>
<b>10 ASPECTOS FIOGROFICOS DE RERIUTABA.....</b>	<b>55</b>
10.1 CLIMA.....	55
10.2 VEGETAÇÃO.....	55
10.3 HIDROGRAFIA.....	55
<b>11 GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>56</b>
11.1 PROVÍNCIA BORBOREMA.....	56
11.2 DOMÍNIOS ESTRUTURAIS.....	58
<b>11.2.1 Domínio Médio Coreaú (DMC).....</b>	<b>59</b>
<b>11.2.2 Domínio Ceará Central (DCC).....</b>	<b>59</b>
<b>12 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS.....</b>	<b>60</b>
12.1 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI) DA ÁREA DE TRABALHO.....	60
12.2 RAZÕES ENTRE BANDAS E COMPOSIÇÕES.....	63
<b>13 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT/TM.....</b>	<b>68</b>
13.1 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE BANDAS INDIVIDUAIS.....	68
13.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS.....	73
13.3 TRANSFORMAÇÃO IHS.....	79
13.4 NOTAS SOBRE O PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	81
<b>14 AEROGEOFÍSICA.....</b>	<b>83</b>
<b>15 PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS.....</b>	<b>84</b>
15.1 DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS.....	84
<b>15.1.1 Pré-processamento.....</b>	<b>84</b>
<b>15.1.2 Processamento.....</b>	<b>86</b>
<b>15.1.3 Produtos Magnetométricos.....</b>	<b>86</b>
<b>16 DADOS AEROGAMAESPECTOMÉTRICOS.....</b>	<b>89</b>
16.1 PRODUTOS GAMAESPECTOMÉTRICOS.....	89
16.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE).....	90
<b>17 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS RADIOMÉTRICOS DE K, U, Th e CT.....</b>	<b>91</b>
17.1 POTÁSSIO (K).....	91
17.2 URÂNIO.....	93
17.3 TÓRIO.....	95
17.4 CONTAGEM TOTAL.....	97
<b>18 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DA ANÁLISE DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS.....</b>	<b>100</b>
<b>19 SOBRE O MAPA E NOTAEXPLICATIVA: FOLHA SB-24-V-A-III-2, ESCALA 1:50.000.....</b>	<b>102</b>
<b>20 PANORAMA LITO-ESTRATIGRÁFICO DA REGIÃO DE AMANAIARA-</b>	

<b>RERIUTABA.....</b>	<b>103</b>
20.1 COMPLEXO CEARÁ .....	104
<b>20.1.1 Unidade Canindé.....</b>	<b>104</b>
20.1.1.1 Biotita gnaisses.....	104
20.1.1.2 Biotita gnaisses.....	107
20.1.1.3 Sillimanita-biotita gnaisse.....	107
20.1.1.4 Anfibólio-biotita gnaisses.....	108
20.1.1.5 Anfibolito.....	109
20.1.2 Unidade independência.....	110
20.1.2.1 Granada-sillimanita micaxisto.....	111
20.1.2.2 Muscovita-biotita gnaisse.....	111
20.1.2.3 Granada-biotita gnaisse.....	111
20.1.2.2 Granada-muscovita-biotita gnaisse.....	112
20.1.2.4 Rochas Calcissilicáticas.....	112
20.1.2.5 Mármore.....	112
20.1.2.6 Anfibolitos.....	113
20.2 GRANODIORITO ANIL.....	113
20.3 GRUPO JAIBARAS.....	117
<b>20.3.1 Formação Massapê.....</b>	<b>117</b>
<b>20.3.2 Formação Pacujá.....</b>	<b>119</b>
20.4 FAIXA GRANULÍTICA.....	120
20.5 GRUPO SERRA GRANDE.....	121
20.6 DEPÓSITOS ALUVIAIS E COLÚVIOS.....	125
<b>21 MAGMATISMO.....</b>	<b>127</b>
21.1 SUÍTES DE FONTES HÍBRIDAS E CRUSTAIS.....	127
21.2 SUÍTES DERIVADAS DO MANTO- ENRIQUECIDO.....	127
21.3 SUÍTES HÍBRIDAS, INTRUSIVAS GRANÍTICAS MENORES E ENXAMES DE DIQUES RELACIONADOS COM AS FASES PÓS- COLISIONAIS.....	128
<b>22 METAMORFISMO.....</b>	<b>103</b>
<b>23 AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO.....</b>	<b>110</b>
<b>24 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....</b>	<b>111</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>125</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>128</b>



**RELAÇÕES TECTONOSTRATIGRÁFICAS POS-PALEOZOICO**

ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	DEPÓSITOS SUPERFICIAIS
MESOZOICO	CRETÁCIO	135 - 65	
	JURÁSSICO	200 - 135	
	TRIÁSICO	252 - 200	
PALEOZOICO	PERMIANO	252 - 252	
	CARBÔNIFERO	359 - 252	

**RELAÇÕES TECTONOSTRATIGRÁFICAS PRECAMBRIANO E OFANEROZOICAS**

CRONOESTRATIGRAFIA	PERÍODO	IDADE (Ma)	PROVÍNCIA PARNAÍBA		PROVÍNCIA BORBOREMA	
			SUB-DOMÍNIO MÊDIO-CORAÚ	SUB-DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL	SUB-DOMÍNIO SERTANTONAL	SUB-DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL
MESOZOICO	CRETÁCIO	65 - 135				
	JURÁSSICO	135 - 200				
	TRIÁSICO	200 - 252				
PALEOZOICO	PERMIANO	252 - 252				
	CARBÔNIFERO	252 - 359				
PRECAMBRIANO	PROTÓZOICO	540 - 540				
	ARCHAICO	2500 - 540				

**DESCRIÇÃO DAS UNIDADES**

- DEPÓSITOS CENOZOICOS**
- Qa** Depósitos aluviais: argilas, areias argilosas, areias quartzosas e quartzofeldspáticas, porções conglomeráticas.
  - Qa** Depósitos coluvionares: Detritos rochosos de tamanho variado e sem classificação.
- GRUPO SERRA GRANDE**
- Ssgi** Formação Ipú: conglomerados polimíticos com a presença de estratificações cruzadas acanaladas e vários fragmentos de rochas e minerais; arenitos conglomeráticos que possuem uma tonalidade que varia desde o avermelhado a amarelo avermelhado, com estratificações cruzadas acanaladas.
- Suites intrusivas**
- Np3/3i** Granodiorito Anil: granitídeos cinzentos, geralmente de granulometria média a grossa de composição granítica dominante, em parte com enclaves dioríticos.
- GRUPO JAIBARAS**
- εOjm** Formação Pacujá: arenitos micáceos, de coloração cinza, granulometria muito fina, bem selecionado, com estratificação plano-paralela, cruzada tabular angular, definidas principalmente pelos minerais pesados, marcas onduladas e laminação convoluta.
  - εOjm** Formação Massapé: conglomerado polimítico brechóide, com grãos constituintes do arcabouço com dimensões que variam desde seixos até matacões e com grau de arredondamento variando de anguloso a sub-anguloso. Os clastos são de composição variada, representados por fragmentos de gnaisses, microgranitos, xisto, cálcio-silicáticas, além de seixos de quartzo e feldspato, os quais estão imersos de forma aleatória numa matriz arenosa, de granulometria fina, de composição arcossiana e coloração vermelho carne.
- COMPLEXO CEARÁ**
- Ppcc** Unidade Canindé: gnaisses milonitizados com feições migmatíticas (granada-biotita-gnaisses; biotita-muscovita-gnaisses; muscovita-biotita-gnaisses), rochas metabásicas, melagabros, metatramáticas, metacalcários, anfibolito gnaisses e anfibolitos, cálcio-silicáticas, ocorre ainda nessa unidade corpos de ortognaisses de composição granítica, alongados.
  - PPci** Unidade Independência: sequência de rochas de paraderivação, composta por granada-sillimanita micaxisto, muscovita-biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, granada-muscovita-biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, com lentes de anfibolitos, mamores e quartzitos.
- Faixa Granulítica de Cariré**
- PPgc** Faixa granulítica de Cariré: Enderbitos que apresentam coloração cinza escura com leves tons esbranquiçados, granulometria fina a média, e bandamento, definidos por bandas milimétricas de coloração branca, ricas em minerais félsicos (quartzo e feldspato) que intercalam com bandas escuras predominantemente constituintes de minerais máficos (proxênio e/ou anfibolito).

**OCORRÊNCIAS MINERAIS**

**Minas não-exploradas**

- Falha
- Lineamentos
- Lineação
- Foliação
- Zonas de Cisalhamento
- Au
- Pb

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Rodovias
- Drenagem
- Açudes e Lagos
- Cidades

**MAPA GEOLOGICO**

ESCALA 1:50.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

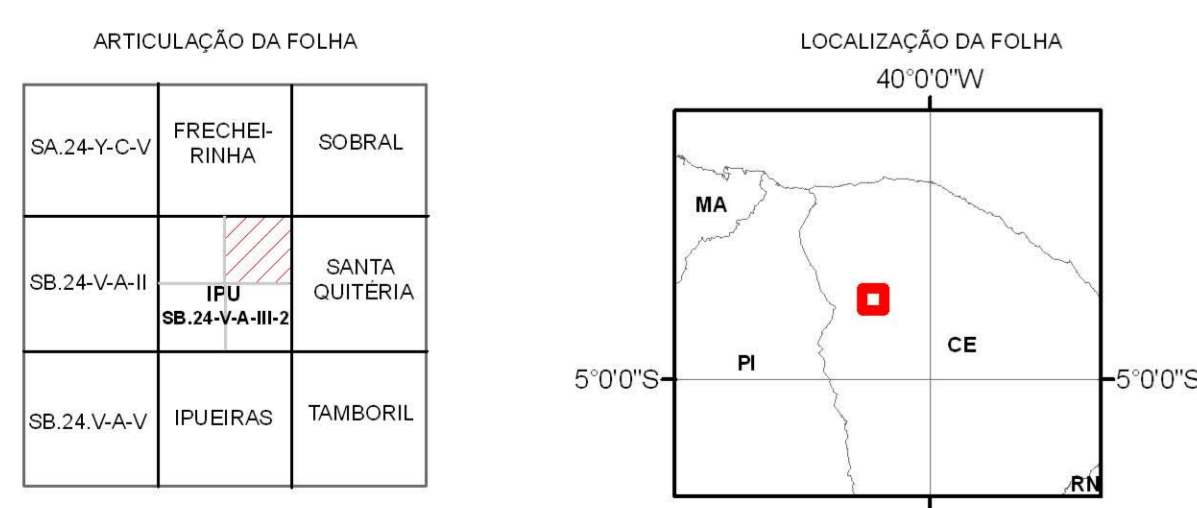
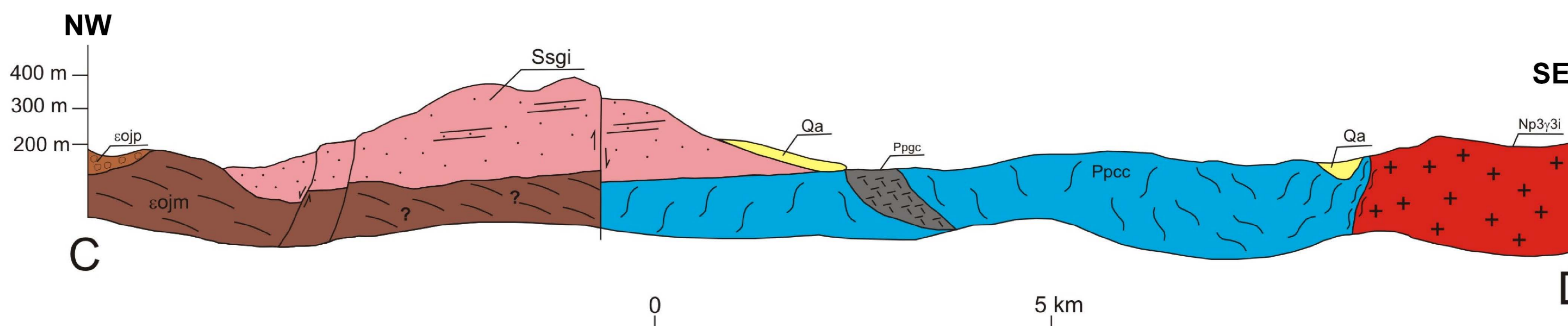
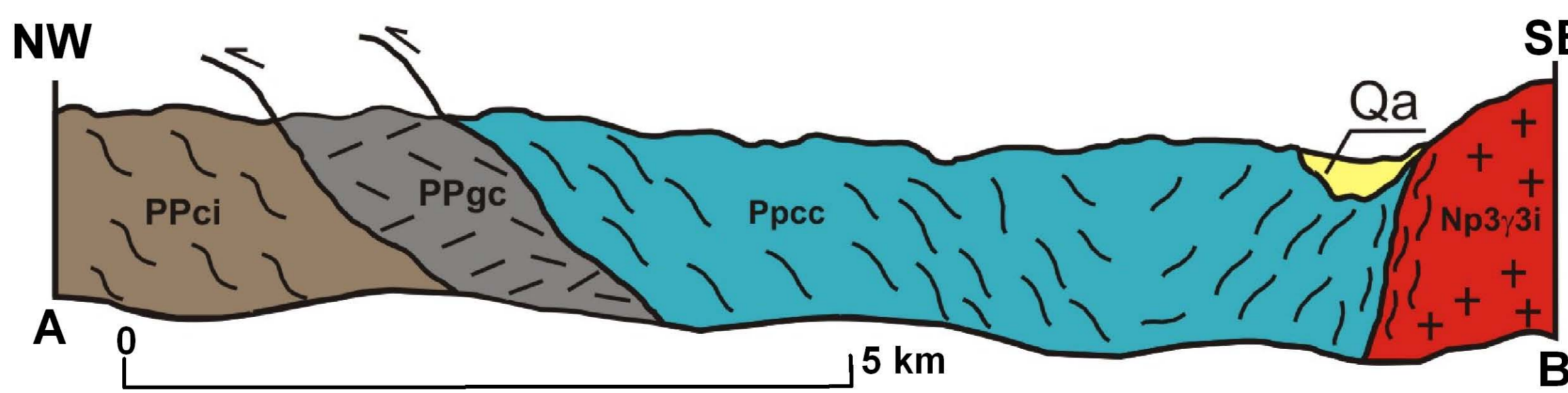
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 39° W. GR. acordesais as constantes: 10.000.000 e 500.000, respectivamente.

Datum horizontal: WGS84

Declinação magnética do centro da folha em 1989: 20° 24' W. Cresce 5,8" anualmente.

**AUTORES**

Raquel Pontes Mogaena  
Francisco de Assis Matos de Abreu  
Márcia dos Santos Valadares  
Osmar Guedes Junior



**CRÉDITO DA BASE CARTOGRÁFICA**

Base Planimétrica digital obtida da carta impressa "Folha Ipu" publicada em 1989 pelo IBGE, baseada as imagens do Mosaico GeoCover - 2.000, ortorectificado e georeferenciado segundo o datum WGS84, de imagens ETM+ do Landsat 7 resultante da fusão das bandas 7, 4, 2 e 8, com resolução espacial de 14,25 metros. Esta base foi editada e atualizada pela Divisão de Cartografia - DICART, para atender ao mapeamento temático do Serviço Geológico do Brasil - CPRM.

## 1 INTRODUÇÃO

O Noroeste do Ceará, onde se encontra a região de Amanaiara-Reriutaba (Folha Ipú), está inserido no contexto geológico da Província Borborema, denominação introduzida por Almeida et al (1977), e aplicado para a parte leste da região nordeste da Plataforma Sul-Americana. A província é considerada uma “colcha de retalhos” de terrenos de diferentes litologias, de idades distintas, separados por falhas e lineamentos importantes.

A cartografia geológica é um dos ramos da geologia que busca estudar uma determinada área, fazendo levantamentos de dados geológicos diretos e indiretos, com a finalidade de retratar cartograficamente o contexto geológico de determinada região, abrangendo seus aspectos litológicos, estruturais, geocronológicos e seus recursos minerais.

Com a finalidade de integrar os trabalhos de campo na área que abrange a Folha Ipú, esta monografia utilizou informações retiradas a partir de sensores remotos, como imagens do Mosaico Geocover 2000, Radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e imagens LANDSAT-TM, além do auxílio de imagens aerogeofísicas do Projeto Rio Acaraú. Em conjunto com essas informações descritas anteriormente, foram utilizadas informações extraídas dos diversos relatórios e mapas geológicos oriundos da disciplina Estágio de Campo II. A partir de então foi possível a confecção de um mapa geológico em ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a elaboração de uma descrição detalhada do mesmo.

## 2 JUSTIFICATIVA

As universidades no Brasil, através dos seus cursos de graduação em Geologia, têm um importante papel no avanço do conhecimento geológico e à introdução de novas tecnologias, bem como de processos para a busca, a exploração e mais recentemente a conservação de recursos minerais.

O trabalho agora apresentado foi possível graças ao vínculo contratual no Projeto de Mapeamento Geológico das folhas Frecheirinha, Ipú e Sobral, uma parceria entre o Instituto de Geologia/faculdade de Geologia (G/FAGEO) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), o qual tem a finalidade de realizar a cartografia geológica integrada respectivamente das três folhas na escala de 1:100.000.

A construção de SIG para a região de Amanaiara-Reriutaba possibilitou que as informações sobre a mesma fossem acessadas de forma simples e rápida, uma vez que estas estarão organizadas e integradas, e que estarão disponibilizadas para a consulta em grande escala pela sociedade.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 GERAL

Realizar cartografia geológica digital da região de Amanaiara-Reriutaba (SB-24-V-A-III-2), a partir de dados produzidos em mapeamentos realizados pelo Instituto de Geociências – IG/UFPA, associados à interpretação de dados pré-existentes, associando-os a produtos de sensores remotos e aerogeofísica, disponibilizando-os em base única na escala de 1: 50.000.

#### 3.2 ESPECÍFICOS

a) montar um banco de dados em meio digital dos mapeamentos geológicos realizados, bem como disponibilizar publicamente um grande acervo de informações existentes sobre cartografia geológica, hoje restrita, por dificuldade de consulta pela sua dispersão.

b) fazer a migração dos mapas dos trabalhos geológicos anteriores catalogados e disponíveis somente em papel para o meio digital.

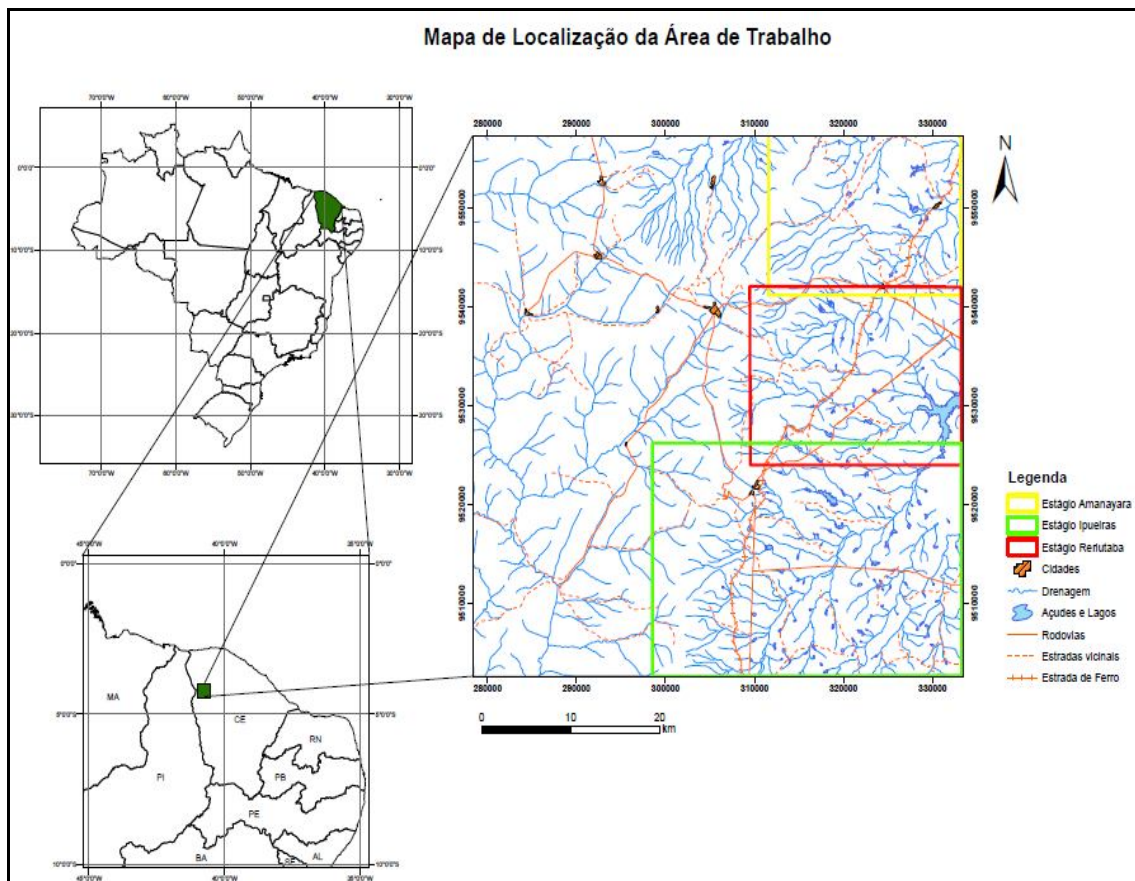
c) processar, analisar e interpretar imagens de sensores remotos (LANDSAT e SRTM) e aerogeofísicas (Projeto Rio Acaraú, 1974) para a melhor caracterização geológica.

d) fazer a apresentação de forma final, um SIG completo com mapa geológico e nota explicativa, onde constarão aspectos litológicos, estruturais, descrições de feições particulares, desenhos, classificações e interpretações. O mapa será editado de acordo com as normas e padrões de tipos e espessuras de linhas, cores, fontes, e outros, conforme os manuais técnicos de geologia existentes.

e) familiarizar a discente envolvida nesse projeto de TCC com as técnicas modernas de manipulação de dados de cartografia geológica em ambiente digital.

#### 4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO

A área de trabalho (ver Figura 01) encontra-se na Região Nordeste do Brasil, na porção noroeste do estado do Ceará, nos domínios tectônicos Médio Coreaú e Ceará Central. Abrange especificamente a região de Amanaiara-Reriutaba, que fica dentro da Folha Ipu, no recorte de 1:100.000 (SB-24-V-A-III- 2). A área de estudo é limitada pelos paralelos 4°00'00"N e 4°15'00"S de latitude sul e pelos meridianos 40°15'0"E e 40°30'0"W de longitude oeste.



Mapa 01 - Mapa de Localização da área de trabalho, com destaque para as áreas dos Estágios Amanaiara e Reriutaba, respectivamente em amarelo e vermelho. Em verde, está localizado o estágio de Ipuellas.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

Para a realização do trabalho foram utilizados mapas geológicos dos Estágios de Campo II, na escala de 1:25.000, e em menor proporção em 1:50.000, frutos da execução de diversos estágios de mapeamento geológico, TCC, IC e dissertações de mestrado na região aludida. A base planialtimétrica em 1:100.000, da Folha Ipu, gerada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística /SUDENE foi compatibilizada em ambiente computacional para o lançamento de todas as informações sistematizadas.

Os produtos de sensores remotos (imagens LANDSAT em diferentes bandas e imagens de radar SRTM) e imagens aerogeofísicas, foram processadas para extração de lineamentos e delimitação dos contatos geológicos através de interpretação visual;

Na imagem LANDSAT o ponto utilizado foi 218 e a órbita 063. A data de aquisição da imagem é 10 de julho de 1999.

Checagens de campo para reduzir incertezas e coletar dados complementares, quando se realizaram as seções geológicas contínuas, previamente escolhidas, que tiveram lugar durante atividades acadêmicas do IG – UFPA.

Bem como o balanceamento e uniformização das informações para a composição do mapa final do trabalho e da nota explicativa.

As ferramentas computacionais utilizadas foi o programa ArcGis 9.3 e ENVI 4.7 que auxiliaram no processamento das imagens, sendo que as mesmas foram baixadas pela internet através do site: [www.glfsc.com](http://www.glfsc.com).

### 5.2 MÉTODOS E ATIVIDADES

Catálogo dos diversos relatórios produzidos em atividades e disciplinas de campo do IG, com posterior análise sobre o material disponibilizado, gerando no final uma nota explicativa sobre o mapa confeccionado. Foram utilizados os materiais disponíveis no Laboratório de

Cartografia Geológica (GEOCART), como computadores, os softwares ArcGIS 9.3 e Global Mapper. Para o processamento das bandas eletromagnéticas e para a transformação das mesmas em imagens coloridas, bem como a realização da operação de Razão entre Bandas, foi utilizado o programa ENVI® (Environmental for Visualizing Images – Ambiente para visualização de imagens).

Interpretação digital de produtos de sensoriamento remoto, como imagens do satélite LANDSAT-TM (Thematic Mapper), do Radar SRTM e Geocover, foram utilizadas como base da cartografia e topografia, e auxiliaram na delimitação de unidades geológicas. Todos esses procedimentos foram feitos utilizando o software ENVI.

A utilização de mapas aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria é oriunda dos trabalhos do Contrato CPRM 033/PR/2008 – UFPA (Projeto de Mapeamento Geológico e Levantamento de Recursos Minerais das Folhas Sobral, Frecheirinha e Ipu) utilizados para uma melhor definição de domínios magnéticos e radiométricos. Os dados aerogeofísicos processados neste trabalho foram adquiridos do Projeto Rio Acaraú (1974), realizado na região NW do Ceará, onde foram levantados um total de 103,720.000 km de perfis a uma altura de vôo de 150m controlada por radar-altímetro. As linhas de vôo deste projeto têm direções N-S, com espaçamentos entre linhas de 1000 e 500 metros e linhas de controle perpendiculares (E-W), com espaçamentos de 20km. A área total dos levantamentos foi de aproximadamente 59.000 km<sup>2</sup>.

### 5.3 DOWNLOAD DA IMAGEM E PLANEJAMENTO DA AQUISIÇÃO DE DADOS

Para o desenvolvimento das atividades práticas de interpretação das imagens de satélite LANDSAT foram utilizados principalmente os computadores do laboratório GEOCART localizado no IG/FAGEO, como instrumento para fazer os downloads de imagens. As imagens foram obtidas gratuitamente através do *Global Land Cover Facility* (Ver Figura 02).

GLCF: Earth Science Data Interface - Mozilla Firefox

Arquivo Editar Exibir Histórico Favoritos Ferramentas Ajuda

http://glcfapp.glcfd.umd.edu/8080/esdi/index.jsp

Mais visitados Primeiros passos Últimas notícias

GLCF: Earth Science Data Interface

Global Land Cover Facility  
Earth Science Data Interface

Home Map Search Product Search Path/Row Search Workspace Login Help Contact Us GLCF

ETM+  
WRS-2, Path 218, Row 063  
1999-07-10  
EarthSat  
Ortho, GeoCover  
Brazil  
Online: 035-730  
Compressed Size: 264 MB; Actual Size: 562 MB

Info Download

Click on an ID below to Preview and Download. Click on the preview above to see a larger browse image.

<< First < Previous Page 1 of 1 Next > Last >>

show/hide columns

[ ID ]	Status	[ WRS: P/R ]	[ Acq. Date ]	Dataset	Producer	Attr.	Type	Location
035-729	Online	2: 218/062	2000-09-30	ETM+	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Brazil
035-730	Online	2: 218/063	1999-07-10	ETM+	EarthSat	Ortho, GeoCover	GeoTIFF	Brazil

<< First < Previous Page 1 of 1 Next > Last >>

Please send any comments to glcf@umiacs.umd.edu  
© 1997 - 2004, University of Maryland. All rights reserved. Version 2.1.17

Localizar: IHS Próxima Anterior Beilçar tudo Diferenciar maiúsculas/minúsculas Texto não encontrado

Concluído

14:09 15/01/2011

Imagem 01: imagens de satélite LANDSAT  
Fonte: <http://glcfapp.umiacs.umd.edu/index.shtml>

## 6 SENSORIAMENTO REMOTO

### 6.1 BREVE HISTÓRICO

Segundo Divino (2005), o Sensoriamento Remoto (SR) teve início com a invenção da câmara fotográfica. Esse foi o primeiro instrumento de sensoriamento utilizado, até os dias atuais, as quais ainda são utilizadas para a tomada de fotos aéreas. As aplicações militares quase sempre estiveram à frente no uso de novas tecnologias, e no SR não foi diferente. Relata-se que uma das primeiras aplicações do SR foi para uso militar.

A evolução do SR é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços na física, na físico-química, na química, nas biociências e geociências, na computação, na mecânica, etc. A grande revolução do SR aconteceu no início de 1970, com o lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres. Os satélites, embora demandem grandes investimentos e muita energia nos seus lançamentos, orbitam em torno da Terra por vários anos. Nos dias atuais o SR é quase que totalmente alimentado por imagens obtidas por meio da tecnologia dos satélites orbitais.

No Brasil, a utilização do sensoriamento remoto para a geologia tem como marco fundamental o início da década de 1970. Neste período foi executado o Projeto RADAM, maior programa de levantamento de radar aerotransportado já realizado no mundo. Inicialmente desenvolvido para a Amazônia, o projeto foi posteriormente estendido para todo o país, passando a se chamar RADAM Brasil. As imagens de radar foram essenciais para a evolução do conhecimento geológico do país, pois, a partir da interpretação destas imagens, foram elaborados os primeiros mapeamentos geológicos sistemáticos do Brasil. O uso do radar permitiu a obtenção de imagens da Amazônia, pela primeira vez, livre de nuvens. Durante mais de uma década, as imagens de radar do RADAM Brasil e as fotografias aéreas constituíram as bases de dados de sensoriamento remoto utilizadas no mapeamento geológico e na prospecção mineral.

Em Julho de 1972, a NASA lançou o satélite imageador ERTS1, posteriormente batizado LANDSAT. A difusão das imagens do LANDSAT demorou a ocorrer no Brasil, ficando restrita, durante a década de 1970 e

meados dos anos 1980, principalmente, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e ao meio acadêmico. Atualmente, as cenas do LANDSAT estão entre as mais difundidas no mundo e, no Brasil, são utilizadas rotineiramente pelas empresas de mineração, pelo Serviço Geológico do Brasil/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SGB/CPRM e por órgãos de fomento do governo.

Na década de 1990 e início dos anos 2000, ocorreu uma “avalanche” de lançamentos de novos satélites, incluindo novos sensores radar (Ers, Jers e RADARSAT), sensores óticos multiespectrais (Áster, CBERS, Irs, Ikonos, Quickbird) e hiperespectrais (Hyperion). Estes novos satélites trouxeram melhoras na frequência temporal e nas resoluções espectral e espacial. Atualmente, a utilização de imagens é premissa básica para qualquer programa de mapeamento geológico. Na prospecção mineral, por exemplo, a interpretação de imagens propicia maior rapidez e eficiência para a definição dos alvos.

O SR possibilita aplicações em inúmeras áreas: agricultura, meio ambiente, geologia, recursos hídricos, estudo de solos, florestas, etc. Em estudos para fins de levantamentos, monitoramento ou mapeamento, com uso de imagens de satélites, são necessárias algumas etapas que devem ser seguidas, entre elas: definição dos objetivos e da área de estudo, revisão bibliográfica, coleta de dados, escolha das bandas espectrais, definição da escala, aquisição de imagens e de outros produtos necessários, processamento (no caso de produtos digitais), análise e interpretação visual preliminar, trabalho de campo, processamento, análise e interpretação visual final, elaboração e impressão de mapas e relatório (DIVINO, 2005).

As imagens de SR são rotineiramente interpretadas para identificar litologia, estruturas, características dos padrões de drenagem e formas terrestres. Adicionalmente, o SR é frequentemente usado para exploração mineral e de petróleo.

## 6.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E SATÉLITE LANDSAT

### 6.2.1 Conceitos e técnicas relacionadas

O processo evolutivo do Sensoriamento Remoto por satélites aconteceu por meio de quatro segmentos tecnológicos principais determinantes, representados por instrumentos que compõem o sistema de captação de dados e imagens, os sensores, cuja evolução tem contribuído para a coleta de imagens de melhor qualidade e de maior poder de definição; Sistema de Telemetria, que consiste no sistema de transmissão de dados e imagens dos satélites para estações terrestres, e tem evoluído no sentido de aumentar a capacidade de transmissão dos grandes volumes de dados, que constituem as imagens; Sistemas de Processamento, que consistem dos equipamentos computacionais e softwares destinados ao armazenamento e processamento dos dados do SR; e Lançadores, que consistem das bases de lançamento de foguetes que transportam e colocam em órbita, os satélites.

São conhecidas várias séries de satélites de SR em funcionamento. Entre eles podemos citar: LANDSAT (Ver figura 03), SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA. Os satélites das cinco primeiras séries são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto que os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas são também utilizados no SR.

O sistema LANDSAT (LAND SATellite) foi o pioneiro na obtenção, de forma sistemática, de imagens terrestres sinópticas, de média resolução. Desenvolvida pela NASA, a série de satélites LANDSAT iniciou sua operação no ano de 1972. Os primeiros satélites eram equipados com os sensores Multispectral Scanner System (MSS). Esses sensores já tinham a capacidade de fazer a coleta de imagens separadas de bandas espectrais em formato digital, fazendo a cobertura de cada imagem uma área de 185km X 185km, com repetição a cada 18 dias. A série passou por inúmeras inovações, especialmente os sistemas sensores que atualmente obtêm imagens em 7 bandas espectrais. O último da série, o LANDSAT 7, é equipado com os sensores *EnhancedThematicMapper* (ETM) e Pancromático (PAN). O termo

Pancromático significa uma banda mais larga que incorpora as faixas espectrais mais estreitas. Por esta razão a quantidade de energia da banda Pancromática chega ao satélite com maior intensidade e isto possibilita ao sensor uma definição melhor. O Pancromático do LANDSAT chega a uma resolução espacial de 15 m. Os satélites desta série deslocam-se a uma altitude de 705 km, em órbita geocêntrica circular, quase polar e heliossíncrona, isto é, cruzam um mesmo paralelo terrestre sempre no mesmo horário.

Durante o dia, o Landsat cruza o equador às 9:50 h. Ao longo da história do Sensoriamento Remoto até o ano de 2004, a série LANDSAT foi a que mais produziu e forneceu imagens para todos tipos de estudos e aplicações.



Imagem 02 - Imagem do satélite LANDSAT.  
Fonte: NASA

### 6.3 ESTRUTURA DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Uma imagem digital é uma matriz quando os índices de linhas de colunas identificam um ponto na imagem e o correspondente valor do elemento

da matriz identifica o nível de cinza naquele ponto, conhecido como *Digital Number* (DN). Os elementos dessa matriz digital são chamados comumente de “pixel” (Figura 04). O DN de uma imagem representa a intensidade de energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho de um pixel. O DN corresponde sempre à média da intensidade da energia refletida ou emitida por diferentes materiais presentes nesse pixel (SANTOS, 2002).

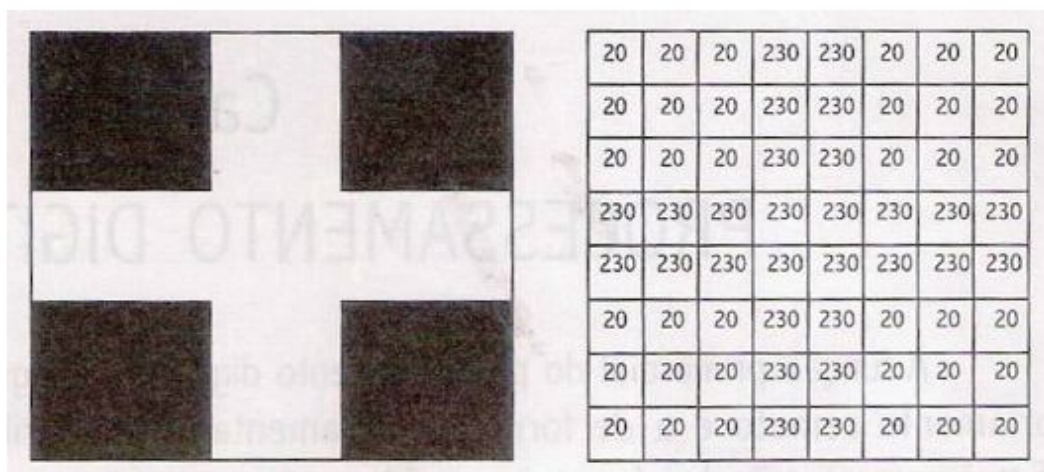


Imagem 03 - Exemplo de uma imagem simples (cruz), mostrada a direita em sua forma digital, como uma matriz numérica. Nesta, cada cela ou “pixel” possui uma localização definida por linha e coluna e o valor de cinza correspondente, que varia de 0 (preto) a 255 (branco).

Fonte: Crósta (1993).

## 6.4 RESOLUÇÃO

A resolução de uma imagem se divide em três diferentes parâmetros: a) resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor; b) resolução radiométrica (Ver Figura 5) é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica; e c) resolução espacial é a capacidade do sistema sensor captar a imagem de

objetos na superfície terrestre. Quanto menor o objeto capturado pelo sensor melhor sua resolução espacial (CRÓSTA, 1993).

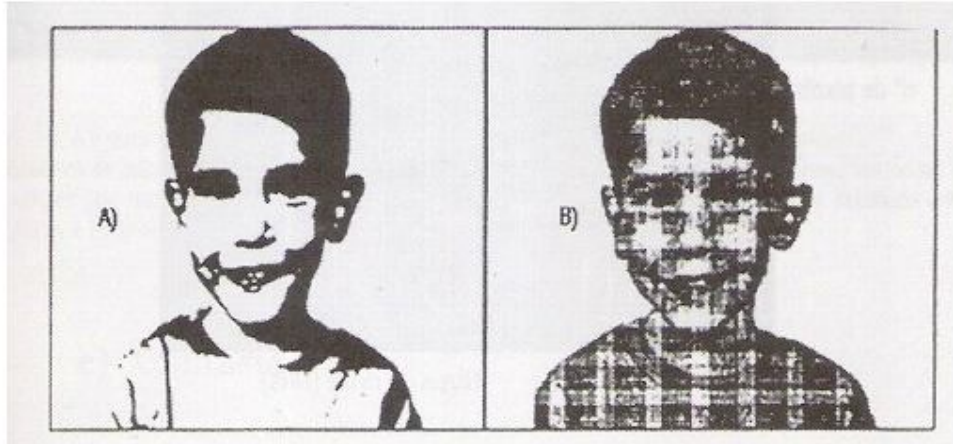
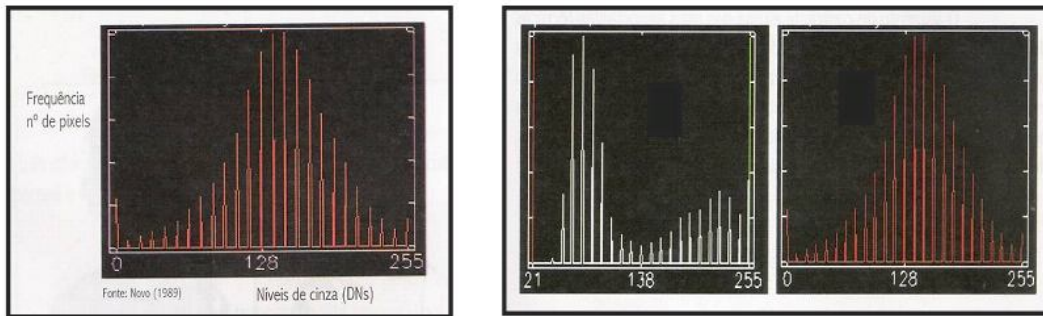


Imagem 04 - A) imagem com resolução radiométrica de 1bit (2 níveis de cinza apenas); B) imagem com resolução radiométrica de 5bits (32 níveis de cinza).  
Fonte: Crosta (1993).

## 6.5 HISTOGRAMA

Os histogramas são também conhecidos como função de densidade de probabilidade ProbabilityDensityFunction (PDF). A PDF representa a probabilidade de se achar estatisticamente um DN de um dado valor de uma imagem. A distribuição de intensidade é representada graficamente por colunas discretas, correspondentes a números inteiros de pixel com mesmo DN. O conhecimento do histograma de cada banda é importante para o realce de contraste em imagens (CRÓSTA, 1993). Os histogramas podem ser unidimensionais quando é de uma banda isolada, ou multidimensional, quando representam dados de mais de uma banda (Ver Figura 6).



Histograma 01 - (1) Histograma Unidimensional; (2) Histograma Multidimensional.  
 Fonte: Novo (1989) apud Santos (2002).

## 6.6 CONTRASTE

A principal função do contraste é apresentar, de forma mais clara a informação contida nos dados originais, para uma melhor interpretação humana. Para tanto esse procedimento redistribui os valores de DN para todo o intervalo possível que vai de 0 a 255. Esta é uma das técnicas mais utilizadas para a extração das informações das imagens em sensoriamento remoto. Porém, deve-se ter cuidado ao usá-la para não perder informações que seriam úteis à interpretação da cena (CRÓSTA, 1993).

## 6.7 COR

O trabalho de Thomas Young (1773-1829) que revelou os princípios da teoria básica das cores, e que se usando as cores primárias ou secundárias, é possível se obter todas as tonalidades de cores. Usando-se os princípios das cores primárias: Vermelho (Red), verde (Green) ou azul (Blue), é possível representar quantitativamente qualquer cor como um grupo de três números ou coeficientes. Os três coeficientes de cores podem ser plotados em um conjunto de eixos tridimensionais, onde cada eixo representa uma cor (RGB). (CRÓSTA, 1993).

As imagens multiespectrais, são para análise visual sob a forma de imagens coloridas. As cores são obtidas a partir da apresentação de três bandas, correspondentes a intervalos espectrais distintos, como a utilização de

um sistema aditivo de cores de modo que a cada banda é atribuída uma das cores primárias. A combinação de três bandas codificadas por essas cores resulta em uma imagem colorida.

## 6.8 FILTRAGEM

A filtragem espacial é uma técnica utilizada para atenuar os efeitos dos ruídos existentes em uma cena imageada (ruídos de diferenças de sensibilidades dos sensores e de erros na transmissão do sinal) utilizando-se, neste caso, os filtros denominados de passa-baixa. O produto final após o uso dos filtros passa-baixa é a diminuição da variação dos níveis de cinza da cena.

O filtro passa-alta é utilizado para realçar regiões de transição dentro de uma cena (realce de borda), ou seja, produzindo uma "agudização" ("sharpering") da imagem, isto é, as transições entre regiões diferentes tornam-se mais nítidas. As filtragens espaciais também proporcionam uma alteração no contraste das imagens. (SANTOS, 2002).

## 6.9 CLASSIFICAÇÃO

O principal objetivo é distinguir e identificar, através das composições, as diferenças entre os materiais superficiais, quer sejam eles do tipo de vegetação, padrões de uso do solo ou outros. A classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito à associação de cada pixel da imagem a um "rótulo" descrevendo um objeto real (solo, água, etc). Desta forma os valores numéricos (DNs) associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada, chamadas então de tema.

## 6.10 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Para que a precisão cartográfica seja introduzida em uma imagem de sensoriamento remoto, faz-se necessário que essa imagem digital seja corrigida segundo algum sistema de coordenadas. A transformação de uma imagem, de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa é chamada de correção geométrica.

O processo de correção geométrica envolve basicamente duas etapas. A primeira consiste na determinação da função que relaciona o sistema de referencia ao da imagem a ser corrigida. Erros sistemáticos relacionados aos orbitas dos sistemas sensores são corrigidos desta forma, na maioria das vezes pelo fornecedor dos dados (p. ex. INPE).

A segunda consiste no cálculo por re-amostragem dos valores de nível de cinza dos pixels na imagem corrigida. Esta segunda etapa precisa ser efetuada, em muitos casos, pelo usuário, e será, portanto mais detalhadamente explicada em seguida:

Utilizando um mapa como sistema de referencia, pode-se registrar uma imagem de forma que seus pixels se tornem referenciados a esse sistema, ou seja, a valores de latitude e longitude ou coordenadas UTM. Esse processo se chama Georeferenciamento.

## 6.11 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

Após a aquisição das imagens de sensores remotos parte-se para a etapa de análise e interpretação desses dados, geralmente de modo visual. Essa análise está baseada em certos princípios, onde estão incluídos os métodos para detectar e medir objetos observados a partir de uma perspectiva aérea ou orbital (Ver Tabela 01). Após o processamento digital é feita então a interpretação visual das imagens para um ou mais temas. No caso deste trabalho a interpretação foi para melhor definição das unidades litológicas e o realce de lineamentos tectono-estruturais.

Tabela 01- Aplicação das bandas Landsat.

BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA ( $\mu\text{m}$ )	REGIÃO DO ESPECTRO	APLICAÇÕES
TM 1	0,45-0,52	Visível (azul)	Boa penetração na água (mapeamento do litoral). Distinção solo/vegetação
TM 2	0,52-0,60	Visível (verde)	Reflexão máxima no espectro verde. Determinação da vitalidade da vegetação.
TM 3	0,63-0,69	Visível (vermelho)	Absorção alta de clorofila. Distinção solo/vegetação.
TM 4	0,76-0,90	infravermelho próximo (refletido)	Reflexão alta da vegetação. Determinação da massa orgânica. Distinção Terra/água
TM 5	1,55-1,75	infravermelho (refletido)	Absorção mínima da água Determinação do conteúdo de água no solo e na vegetação. Distinção nuvem/neve Aplicações geológicas.
TM 6	10,4-12,5	infravermelho termal (emitido)	Determinação de temperatura e umidade das superfícies terrestres. Análise de "stress" da vegetação Distinção cidade/campo.
TM 7	2,08-2,35	infravermelho (refletido)	Aplicações Geológicas. Diferença entre os minerais e rochas. Determinação do conteúdo de água no solo e na vegetação.

Fonte: Lillesand & Kiefer, apud Sulsoft (2000), apud Santos (2003).

VIS= Faixa do visível; NIR= Faixa do Infravermelho próximo

MIR= Faixa do infravermelho médio; TIR= Faixa do Infravermelho termal

## 6.12 IMAGENS LANDSAT TM

Em 1982 surgiu a geração de satélites Landsat TM, da qual fazem parte os satélites Landsat4 (lançado em 16 Julho de 1982) e Landsat5 (lançado em 1 de Março de 1984). Nestes, as câmaras RBV (Return Beam Vidicon) foram substituídas por um novo explorador de varrimento, denominado TM (Thematic Mapper), especialmente desenhado para a cartografia temática, que continha um maior número de detectores por bandas (16 para canais não térmicos). A resolução espacial do TM é de 30 m nos canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e de 120 m no canal 6 (tabela 1). A resolução radiométrica é de 8 bits – 256 níveis digitais.

Os satélites Landsat TM estão a uma altitude de 705 km e são caracterizados por órbitas repetitivas, circulares e heliossíncronas, i.e., passam à mesma hora solar em qualquer ponto terrestre observado. Podem adquirir imagens numa área que se estende desde 81° N até 81° S e em todas as longitudes do globo terrestre. A órbita do satélite é realizada em aproximadamente 99 minutos, permitindo-lhe, dar 14 voltas à Terra por dia, sendo a cobertura total do nosso planeta efetuada em 16 dias.

### 6.13 SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS)

O termo sistema de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas computacionais que manipulam dados geográficos. A palavra sistema deve-se ao fato do SIG ser composto por vários componentes interrelacionados. A palavra informação deve-se ao fato do SIG permitir a conversão de dados em informações a partir de manipulações e consultas interativas sobre os dados armazenados. A palavra geográfica implica que os dados possuem localizações conhecidas ou podem ser calculadas em termos de coordenadas geográficas (INPE). É um importante recurso para o estudo do espaço geográfico.

Segundo Moreira (2003), um SIG é um sistema computacional composto por hardwares, softwares, dados e pessoas para ajudar na manipulação, análise e apresentação de informações especializadas. Esse sistema permite inserir e integrar, em uma única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, como: cartografia, imagem de satélites, dados censitários, etc. Os componentes básicos de um SIG são: Interface com usuário, Entrada e Integração de Dados, Consulta e Manipulação, Saída de Dados e Sistema de Gerência de Banco de Dados. Cada sistema de informações geográficas, em função de seus objetivos e necessidades, insere estes componentes de forma distinta, mas todos estão presentes em um SIG, segundo Câmara Neto (1995).

## 6.14 IMAGENS SRTM

O Projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) representa a primeira experiência de interferometria, técnica da sobreposição de duas ou mais ondas (de entrada), o que cria como resultado uma nova e diferente onda que pode ser usada para explorar as diferenças entre as ondas de entrada. A bordo de uma nave espacial. No período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, a bordo do Space Shuttle Endeavour, numa altitude de vôo de 233 km e uma inclinação de 57°, um conjunto composto por duas antenas coletou 14 Terabytes de dados que permitiram a avaliação do perfil de altitude para criação de modelo digital tri-dimensional da Terra entre as latitudes 60°N e 58°S (CREPANI; MEDEIROS, 2005).

Este arranjo de antenas consiste em uma antena principal de origem americana do sistema SIR-C operando na banda C (comprimento de onda de 6,0 cm), colocada no compartimento de carga da nave com função de transmissão e recepção e outra antena secundária, de origem germano-italiana do sistema X-SAR operando na banda X (comprimento de onda de 3,1 cm), com função de recepção, colocada na extremidade de uma haste de 60 metros de comprimento fora da nave, configurando a linha de base interferométrica que garante a observação a partir de dois pontos ligeiramente diferentes (KOCH, HEIPKE; LOHMANN, 2002 apud CREPANI; MEDEIROS, 2005).

No endereço <http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM?start=10> está disponível um mosaico de imagens SRTM da América do Sul no formato tiff: de Alta Resolução com relevo sombreado e cores representando diferentes altitudes. As imagens foram georeferenciadas em relação aos melhores dados topográficos digitais pré-existentes, do GTOPO30. Os dados topográficos foram colocados na projeção Mercator com pixels aproximadamente quadrados (de 0,6 a 1 km de cada lado) (CREPANI; MEDEIROS, 2005).

A alternativa para se obter imagens fotográficas derivadas de dados SRTM com melhor resolução espacial é utilizar os dados SRTM disponíveis para download gratuito em <http://seamless.usgs.gov> na forma de grade de Modelos Numéricos do Terreno com resolução de 90 metros, para criar imagens com melhor resolução espacial a partir do refinamento da grade de

MNT (Modelo Numérico do Terreno) no SPRING (CREPANI; MEDEIROS, 2004a apud CREPANI; MEDEIROS, 2005b).

## 6.15 PROCESSAMENTO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

O que as cores que conhecemos de fato, denominadas de luz visível, representam é uma parcela diminuta do espectro eletromagnético, se estendendo de 400 nm a 700 nm aproximadamente. Se aceita internacionalmente desde 1931 os valores 435,8 nm, 546,1 nm e 700 nm como os que representam espectralmente as três cores primárias aditivas, azul, verde e vermelho respectivamente, de acordo com a CIE ("Commission Internationale de l'Eclairage") (SOUTO, 2000).

Ao se processar uma imagem de satélite em composição colorida, é feita uma transformação IHS – RGB. IHS, do português: intensidade (I), matiz (H) e saturação (S), onde I, ou brilho, é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo responsável pela sensação de brilho da energia incidente sobre o olho; H, ou cor de um objeto, é a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo a cor do objeto; e S, ou pureza, expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida.

Uma cor espectral mente pura é resultado de um alto valor de saturação, enquanto que um baixo valor de saturação indica uma mistura de comprimentos de onda produzindo tons pastel. Para entender melhor o conceito de IHS e RGB, devemos pensar nos mesmos como espaços de cores (ver Figuras 7 A e B). No entanto, a transformação é feita através de algoritmos matemáticos, realizado pelo próprio programa, onde relaciona o espaço RGB ao espaço IHS.

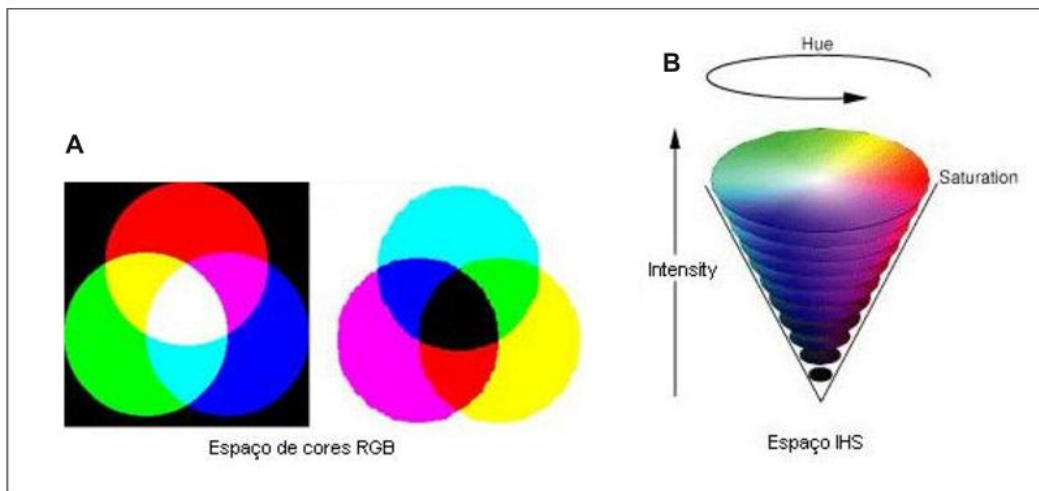


Imagem 05. A) mostra o espaço de cores RGB; e B) mostra o espaço IHS (Araujo, 2008).

## 6.16 INTERPRETAÇÃO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

A radiação emitida pelo sol é refletida pela superfície terrestre e coletada por sensores junto aos satélites, como por exemplo, os sensores citados neste trabalho (TM). Nestes sensores, essa radiação coletada é convertida em um número digital (ND), em função da intensidade desta reflexão (brilho), o que significa dizer que quanto maior o brilho, ou mais refletiva for uma feição, maior serão os valores ND's registrados (Figura 8).

O sensor TM, do Landsat5, por exemplo, que apresenta 8 bits de resolução radiométrica, possui seus valores de ND's, compreendidos entre 0 e 255. Em uma imagem em níveis de cinza podem ser discriminados de 16 a 32 níveis de intensidade (apenas quando separados por limites visíveis em uma seqüência progressiva numa imagem em escala de cinza). Assim sendo, uma imagem que pode conter 256 valores possíveis relacionados a qualquer variável possui o seu potencial de informações subutilizado se mostrada em preto e branco (BEISL, 2003).

Como exemplo prático, temos na figura 28, um pixel com ND = 240 e outro pixel com ND = 10 (por exemplo, a banda termal 6), o primeiro caso, representa uma reflectância ou emitância muito alta, ao contrário do segundo caso, que a reflectância ou emitância é muito baixa. Para a transformação

destes valores de ND's em uma imagem fotográfica, para análise visual, os mesmos são transformados em tonalidades (em níveis de cinza) onde os valores mais altos de ND's, recebem tonalidade mais clara (sendo o valor 255 a cor branca) e os valores mais baixos recebem tonalidades escuras (sendo o valor 0 a cor preta).

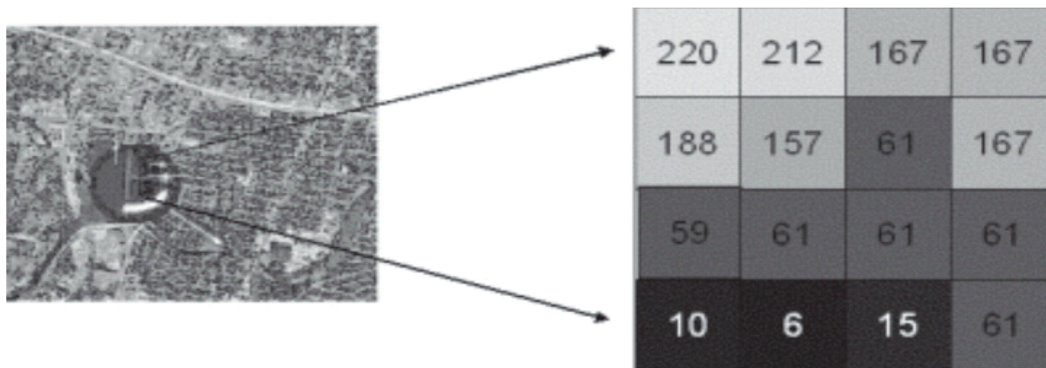


Imagem 06. A imagem é formada por pixels, que é intersecção da linha e da coluna em coordenadas e um ND associado com sua reflectância ou emitância (ARAÚJO, 2008).

### 6.17 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS: SOLOS, ROCHAS, ÁGUA E VEGETAÇÃO

A reflectância dos materiais varia com o comprimento de onda. O registro gráfico da reflectância ao longo do espectro eletromagnético fornece uma curva que descreve as propriedades radiométricas de um determinado material. Esta curva típica é chamada de assinatura espectral e constitui um padrão para identificação dos alvos de estudo por sensoriamento remoto.

A vegetação sadia apresenta alta absorção da energia eletromagnética na radiação do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação.

O comportamento espectral de rochas é resultante dos espectros individuais dos minerais que as compõem. Os minerais apresentam características decorrentes de suas bandas de absorção. Portanto a absorção é o principal fator que controla o comportamento espectral das rochas. As

rochas ricas em sílica (quartzo feldspáticas) tendem a apresentar alta reflectância, enquanto as rochas ricas em magnésio e ferro (máficas) caracterizam-se pelas tonalidades escuras causadas pela baixa reflectância. Entretanto a presença de minerais opacos (ex: magnetita), diminui substancialmente a reflectância das rochas quartzo-feldspáticas. As rochas sedimentares arenosas tendem a apresentar maior reflectância e bandas de absorção mais definidas do que as argilosas. Os principais constituintes responsáveis pela resposta espectral das rochas são o ferro, o carbono orgânico total e as argilas. (IBGE, 2001)

O comportamento espectral dos solos é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) deste.

A água pode-se apresentar na natureza em três estados físicos, os quais apresentam comportamento espectral totalmente distintos. O comportamento espectral da água líquida pura apresenta baixa reflectância (menor do que 10%) na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7 $\mu$ m e máxima absorção acima de 0,7 $\mu$ m. O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho.

A seguir uma figura que ilustra o comportamento espectral dos materiais.

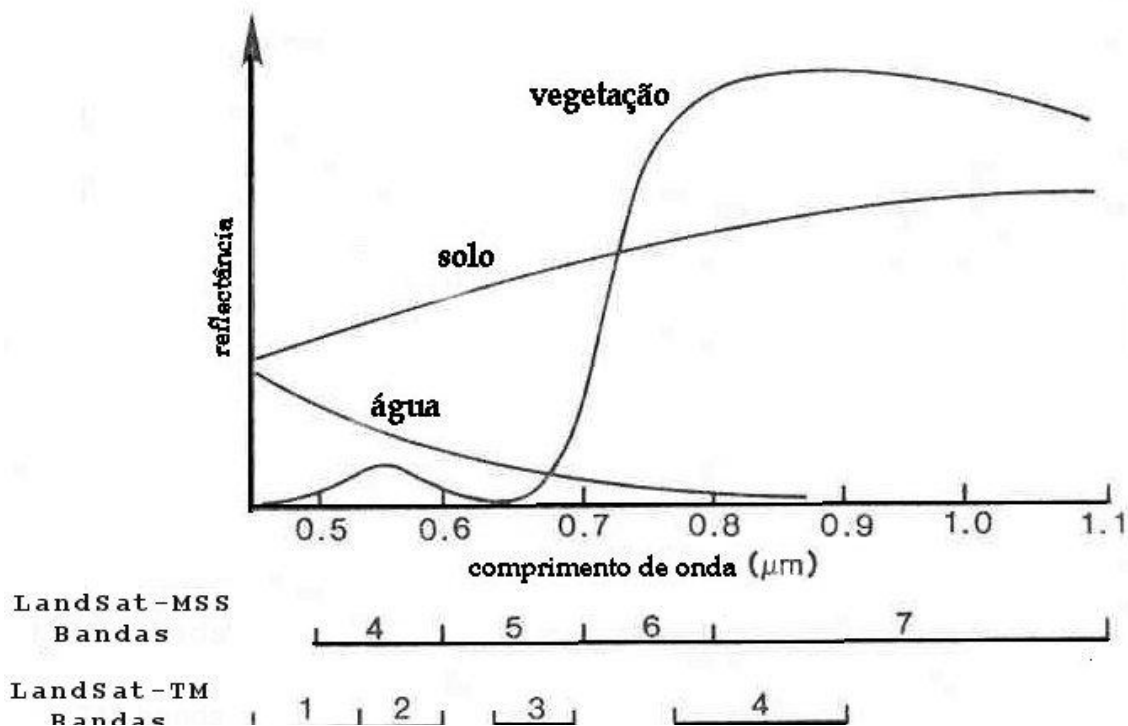


Imagem 07 – Curvas de resposta espectral padrão do solo, da vegetação saudável e da água.  
Fonte: (Erbert, 2001)

## 6.18 GEOFÍSICA AÉREA

A Aerogeofísica é um dos ramos das Geotecnologias que experimentou um dos maiores desenvolvimentos nos últimos anos, com contribuições importantes para o avanço do conhecimento geológico e a exploração mineral em todos os tipos de terreno (SOUZA FILHO; CROSTA, 2003).

Os levantamentos aerogeofísicos possibilitam a medição sistemática de campos naturais sobre qualquer tipo de superfície de forma rápida e econômica, e sem o problema de adentrar em propriedades alheias. A interpretação dos dados possibilita formar uma idéia da distribuição do contraste em propriedades físicas que os materiais geológicos normalmente exibem, neste caso no que diz respeito a Gamaespectrometria e Magnetometria.

## 6.19 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - Geographic Information System) é um sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais que integram dados e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem.

Os SIGs permitem compatibilizar a informação proveniente de diversas fontes, como informação de sensores espaciais, informação recolhida com GPS ou obtida com os métodos tradicionais da Topografia.

## 6.20 AEROMAGNETOMETRIA

A aeromagnetometria teve um grande desenvolvimento em sua trajetória com o impulso dado pela aquisição de dados de alta resolução espacial, sendo o primeiro método geofísico aéreo desenvolvido. Sua motivação foi a aplicação mineral e ambiental, que foi beneficiada por um maior mapeamento de detalhe das características das superficiais magnéticas rasas.

A origem do magnetismo pode ocorrer de vários modos, e em épocas diferentes da história da rocha. A magnetização termo-remanescente é a mais comum, intensa e estável componente permanente. Ela é adquirida quando o material magnético é resfriado abaixo de sua temperatura Curie (temperatura acima da qual uma substância ferromagnética perde o ferromagnetismo e passa à paramagnética) na presença do campo magnético. A susceptibilidade magnética é a medida do grau a qual uma substância pode ser magnetizada por indução no campo magnético terrestre.

Nos levantamentos aeromagnéticos feitos no Brasil, a direção das linhas de vôo é a própria direção da declinação magnética local ou no mínimo, levando em consideração adicional todos os outros critérios (gamaespectrométricos, logísticos, direção das estruturas geológicas, etc.), mais próximo possível dessa direção, devido o Brasil estar em baixas latitudes magnéticas, Cordani (2005).

Os dados aeromagnetométricos foram processados por Santos (2009) utilizando o método de curvatura mínima e determinando-se o tamanho da célula do *grid* em 250 m. Posteriormente, os dados foram micronivelados utilizando o algoritmo de Blum(1999). A partir da malha do campo magnético anômalo micronivelada, foram calculadas as derivadas horizontais em x (DX) e y (DY), e a primeira derivada vertical (DZ), para geração da imagem da amplitude do sinal analítico (ASA). Os canais de contagem total, K, eTh e eU também foram interpolados utilizando-se a curvatura mínima posteriormente micronivelados. As malhas dos radioelementos K, eTh e eU foram combinadas produzindo-se uma imagem ternária a partir do uso do espaço de cores RGB (vermelho-verde-azul).

## 6.21 GAMAESPECTROMETRIA

Alguns isótopos na natureza são instáveis e desintegram-se transformando-se em isótopos mais estáveis, por meio da emissão de radiação. São os chamados isótopos radioativos. Os três tipos principais de radiação produzidos pelo decaimento radioativo são as partículas alfa, beta e raios gama. A emissão de uma partícula alfa ou beta deixa o átomo em estado de excitação sendo o excedente de energia emitido na forma de radiação eletromagnética denominada raios gama. Esse tipo de radiação é muito penetrante por não possuir massa ou carga. Os raios gama podem penetrar até 30cm de rocha e centenas de metros de ar e, portanto são o único tipo de radiação disponível para o sensoriamento da radioatividade terrestre (Minty, 1997).

O K, U, Th são os únicos elementos na natureza com radioisótopos que produzem raios gama com energia e intensidade suficientes para serem medidos na altitude em que são feitos os levantamentos aéreos. A radioatividade total é obtida através da medida de todos os raios gama que entram no gamaespectrômetro dentro da janela energética estabelecida para a contagem total (MINTY, 1997).

Qualquer radiação não originária do solo é considerada como radiação de fundo uma vez que não tem significado geológico e necessita ser removida das medidas efetuadas. Existem quatro fontes de radiação de fundo: a) Radônio atmosférico; b) radiação cósmica; c) radiação da aeronave; e d) resíduos de explosões atômicas e acidentes nucleares (MINTY, 1997).

Segundo Blum (1999), é importante se ter em mente que, apesar de ser evidente que cada tipo rochoso responde de forma diferente na emissão de raios gama, uma rocha que sofreu intemperismo ou seu material sendo transportado cria um novo conjunto de respostas. Os levantamentos radiométricos ou gamaespectrométricos tem tido nos últimos dez anos um período de consolidação e de grande evolução. A gamaespectrometria tem sido muito aplicada, devido principalmente à tendência de aplicação desses dados em trabalhos de exploração não mineral. Contudo, com o recente crescimento da exploração de urânio, as técnicas e aplicações desses levantamentos estão retornando as suas raízes históricas.

O processamento dos dados aerogamaespectrométricos segue alguns dos procedimentos que são aplicados aos dados magnetométricos. Primeiramente deve-se fazer a análise estatística dos dados, para cada canal (K, U, Th e TC) utilizando, por exemplo, a técnica de perfil rebatido. Em seguida deve-se fazer a interpolação de dados de preferência com a técnica da curvatura mínima, depois se for necessário efetuar o micronivelamento. Dentre as técnicas de tratamento interpretativo de dados de espectrometria gama, estão incluídas as analíticas tais como: a análise qualitativa de mapas e imagens individualmente tratadas de K, Th, U, contagem total; blocos diagrama e imagens superpostas (KILLEEN, 1979; DICKSON; SCOTT 1997; GUNN 1998).

## 7 GEOPROCESSAMENTO

### 7.1 INTEGRAÇÃO E REINTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS PRÉ-EXISTENTES

O banco de dados geológicos digitais da região de Sobral desenvolvido por Santos (2006) a partir das informações extraídas dos relatórios e mapas geológicos resgatados da disciplina Estágio de Campo II em formato analógico e digital foi utilizado neste trabalho, principalmente para que fossem inseridas novas informações geológicas de campo obtidas no intervalo desde a sua elaboração até a finalização dessa monografia. As informações inseridas neste banco de dados são relacionadas principalmente às áreas onde existiam lacunas de mapeamento geológico.

A seguir são apresentados os procedimentos efetuados por Santos (*op cit.*) na elaboração do banco de dados, com novas informações e modificações efetuadas neste trabalho.

### 7.2 CATALOGAÇÃO DE ACERVO TÉCNICO

Aquisição e catalogação do acervo técnico pré-existente, incluindo os relatórios da disciplina Estágio de Campo II (Ver Tabela 02), neste caso com ênfase naqueles realizados na região de Sobral e os mapas geológicos, estruturais, de amostragem e de drenagem que estavam anexados a estes relatórios. Foram também catalogados os relatórios de IC, monografias, dissertações e teses realizadas pelo IG/UFGA na região NW do Ceará.

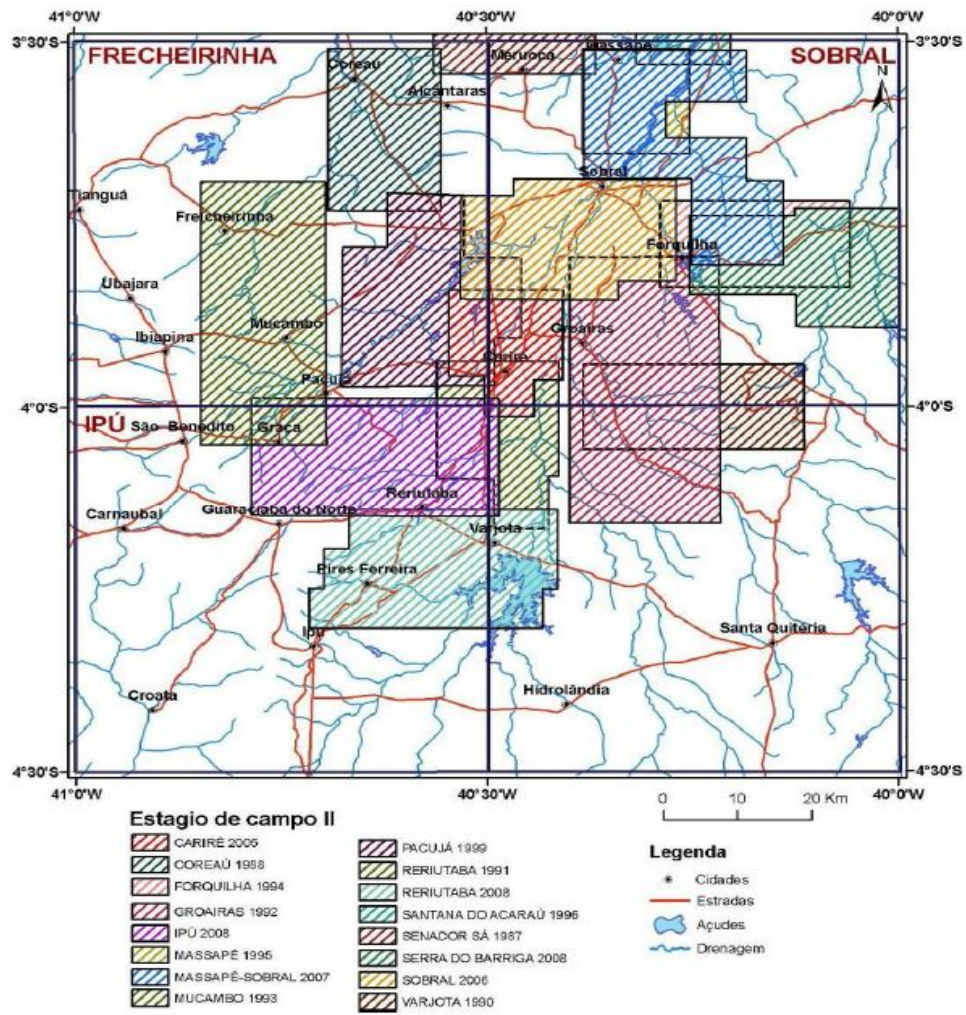
Os materiais referentes à região Noroeste do Ceará foram resgatados em dois momentos. Um no início do trabalho com a coleta de materiais, que se encontrava com os docentes que participaram dos trabalhos de campo nesta região. O outro momento ocorreu quando se teve acesso à chave da “litoteca”, onde se encontrava a maior parte do acervo.

Tabela 02- Relatórios resgatados dos Estágios de Campo II executados na região de Reriutaba - Amanaiara.

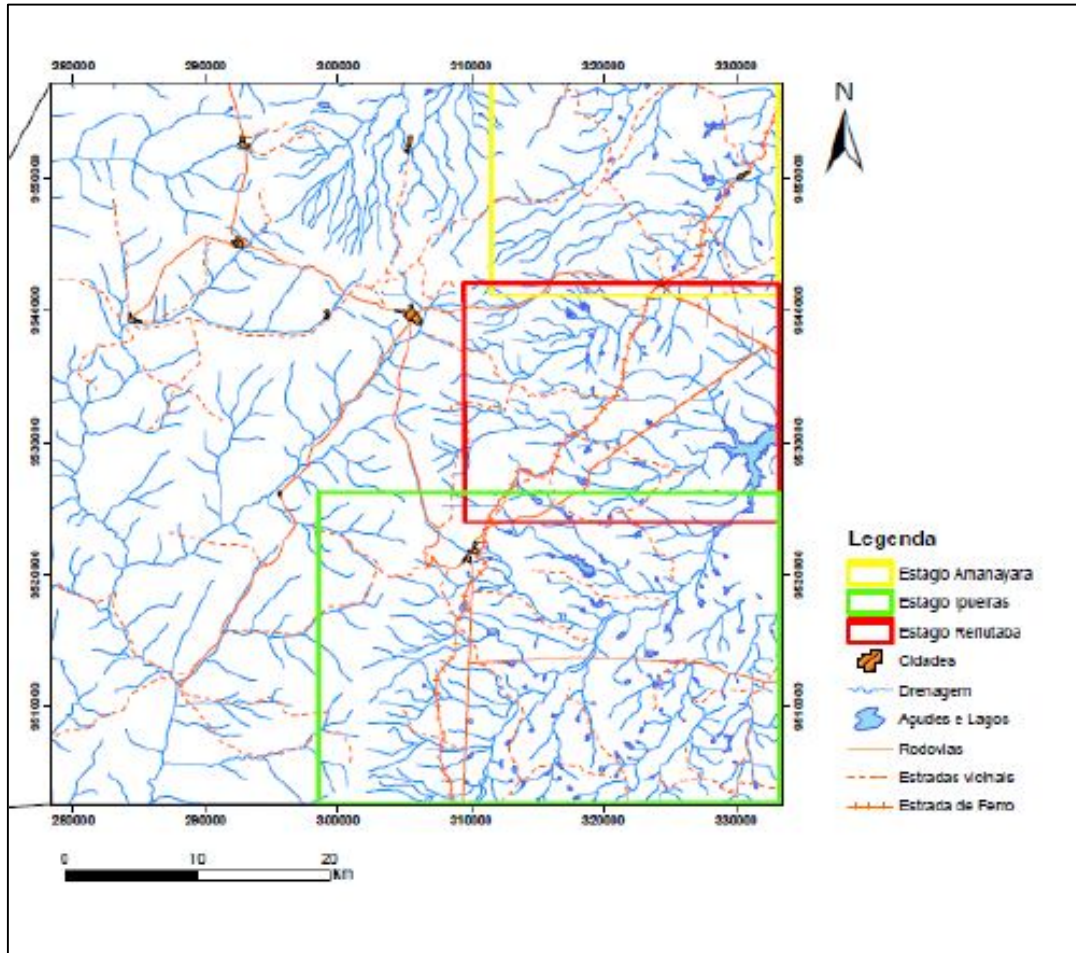
Estágio de Campo	Quantidade	Sub-área
Reriutaba (2008)	6	I, II, III, IV, V, VI
Amanaiara (2009)	4	I, II, III, IV

Após a catalogação deste acervo foi possível definir a área total recoberta pelos mapeamentos geológicos realizados pela Faculdade de Geologia, no IG-UFGA, no NW do Ceará (Ver Figura 9).

Para elaboração do mapa de unidades geológicas, elaborados a partir de imagens de sensores e aereogeofísicas, foram feitos levantamentos de campo das áreas não mapeadas, assim como uma nova verificação naquelas áreas já mapeadas. Foi feito o mapa da área de interesse (Ver Figura 10). Nesses trabalhos de campo, foram construídas seções geológicas contínuas, de preferência transversalmente à estruturação da área abordada, numa relação dialética de fortalecimento dos trabalhos de campo e de laboratório.



Mapa 02 – Área recoberta pelos mapas geológicos dos Estágios de Campo II.  
Fonte: Santos (2009).



Mapa 03 – Mapa com os dois estágios: Reriutaba – Amanaiara.  
 Fonte: CPRM (2003) e Estágio de Campo II (2008).

O banco de dados geológicos dos trabalhos realizados na região de Amanaiara – Reriutaba foi complementado com as informações adquiridas nos tratamentos de imagens. Em seguida, algumas informações, tais como a descrição dos litotipos correspondente as unidades geológicas, as datações geocronológicas, as indicações sobre o metamorfismo e as estruturas foram repassadas para o SIG da Folha SB-24-V-A-III-2 confeccionado na Base AFLORA.

Como resultado obtido pela integração de informações geológicas pré-existentes tem-se um mapa geológico preliminar, integrado, vetorizado, organizado e georreferenciado com simbologia própria. Que posteriormente sofreu nova edição, com a integração das informações extraídas das imagens de sensores e aerogeofísica.

## 8 BANCO DE DADOS EM MEIO DIGITAL

### 8.1 BASE AFLORA

As informações extraídas dos relatórios, dissertações e teses foram utilizadas para a confecção de um banco de dados no Programa “Base Aflora” (Ver Figura 11), que disponibiliza ferramentas para acesso e manejo de banco de dados, onde é possível fazer consultas às informações obtidas anteriormente e que permite também à colocação de novas informações adquiridas durante as viagens de campo, bem como fotos de lâminas e de afloramentos.

O banco de dados digital da Folha de Ipu contém informações acerca da localização dos pontos de afloramento, litotipos, estruturas e fotos. Quando existentes, fichas de descrição petrográfica foram também colocadas em meio digital.

The image shows a software window titled "Localização" with a toolbar and three main sections for data entry:

- Toolbar:** Includes icons for "Novo", "Alterar", "Apagar", "Rocha", "Ilustração", "Estrutura", "Contato", "Rec. Mineral", and "Sair".
- Posição em Coordenadas:**
  - Número de campo\*: RN-0006 (Ex.: AR-0001A)
  - Datum\*: 3 - WGS84
  - Latitude\*: 4,136148 (checkbox "Norte?" is unchecked)
  - Longitude\*: 40,556783
  - Altitude: [ ] metros
  - Base cartográfica\*: SB.24-V-A-III
- Região:**
  - UF\*: CE
  - Município\*: Feriutaba
  - Data\*: 6/7/2010
- Informações:**
  - Dimensão do afloramento: [ ] metros
  - Toponímia\*: São Romão
  - Método de geoposicionamento\*: GPS Manual pós 24/05/2000
  - Erro locacional teórico, associado ao método: 5 a 100 m
  - Centro de custo\*: 2179300
  - Nome do projeto\*: Mapeamento Geológico do Noroeste do Ceará
  - Tipo do afloramento\*: Margem de drenagem
  - Notas: [ ]

CPRM PROGRAMA AFLORA VERSÃO 4.0

Afloramento

Pesquisar Afloramento

Centro de custo  ou Número de campo

Afloramento Dê um duplo clique numa linha do grid para abrir um afloramento.

Nº campo	Nº afloramento	Toponímia
RN-0001	12	São Romão
RN-0002	13	São Romão
RN-0003	14	São Romão
RN-0004	15	São Romão
RN-0005	16	São Romão
RN-0006	17	São Romão
RN-0007	18	São Romão
RN-0008	19	Apude Souza Aguiar
RN-0009	20	Apude Souza Aguiar
RN-0010	21	Apude Souza Aguiar
RN-0011	22	Bom Lugar
RN-0012	23	Bom Lugar
RN-0013	24	Riacho da areias
RN-0014	25	Bom Lugar
RN-0015	26	Bom Lugar
RN-0016	27	Boa Vista
RN-0017	28	Boa Vista
RN-0018	29	Riacho São José
RN-0019	30	Apude Souza Aguiar
RN-0020	31	São José
RN-0021	32	São José
RN-0022	33	Bom Lugar
RN-0023	34	Fazenda Peixe
RN-0024	35	Lagoa do Meio
RN-0025	36	Lagoa do Meio
RN-0026	37	Bom Lugar
RN-0027	38	Telegrafo
RN-0028	39	Boa Vista
RN-0029	40	Riacho dos Porcos
RN-0030	41	Sombrio Grande
RN-0031	42	olho d'agua
RN-0032	43	tapiera
RN-0033	44	cacimba de cima
RN-0034	45	cacimba de cima
RN-0035	46	cacimba de cima

Imagem 08 - Estruturação do banco de dados da Folha Ipu, onde está inserida a região de Amanaiara- Reriutaba, confeccionados no Base Aflora.

## **9 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS DO MUNICÍPIO DE RERIUTABA**

O município de Reriutaba está inserido na mesorregião Noroeste Cearense e na Microrregião Ipu. Possui uma área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> de acordo com dados do IBGE/IPECE e sua população é de 19.316 habitantes de acordo com o censo 2007 do IBGE. Possui sete unidades de saúde, sendo seis públicas e uma privada. Quanto à educação, existem 39 escolas públicas e duas privadas e nenhuma instituição de ensino superior (IBGE/IPECE 2004).

As atividades mais importantes deste município são a agricultura e a agroindústria, destacando-se o cultivo de algodão herbáceo sequeiro; fabricação, produção e preparação de laticínio; fabricação e conservas de frutas; fabricação e conservas de hortaliças. Com relação à pecuária, as principais atividades consistem na caprinocultura de corte semi-intensivo, caprinocultura de leite semi-intensiva e ovinocultura extensiva.

## **10 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DE RERIUTABA**

### **10.1 CLIMA**

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) /IPECE (2008), o município de Reriutaba apresenta clima tropical quente semi-árido, tropical quente semi-árido brando, tropical quente sub-úmido, tropical quente úmido, tropical sub-quente úmido. O índice de pluviosidade é de 957,3 mm/ano, temperatura média de 26° a 28°C e o período chuvoso de janeiro a abril.

### **10.2 VEGETAÇÃO**

O município apresenta vegetação do tipo caatinga arbustiva aberta, floresta caducifólia espinhosa, floresta subcaducifólia tropical pluvial, floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular (IPECE, 2008).

### **10.3 HIDROGRAFIA**

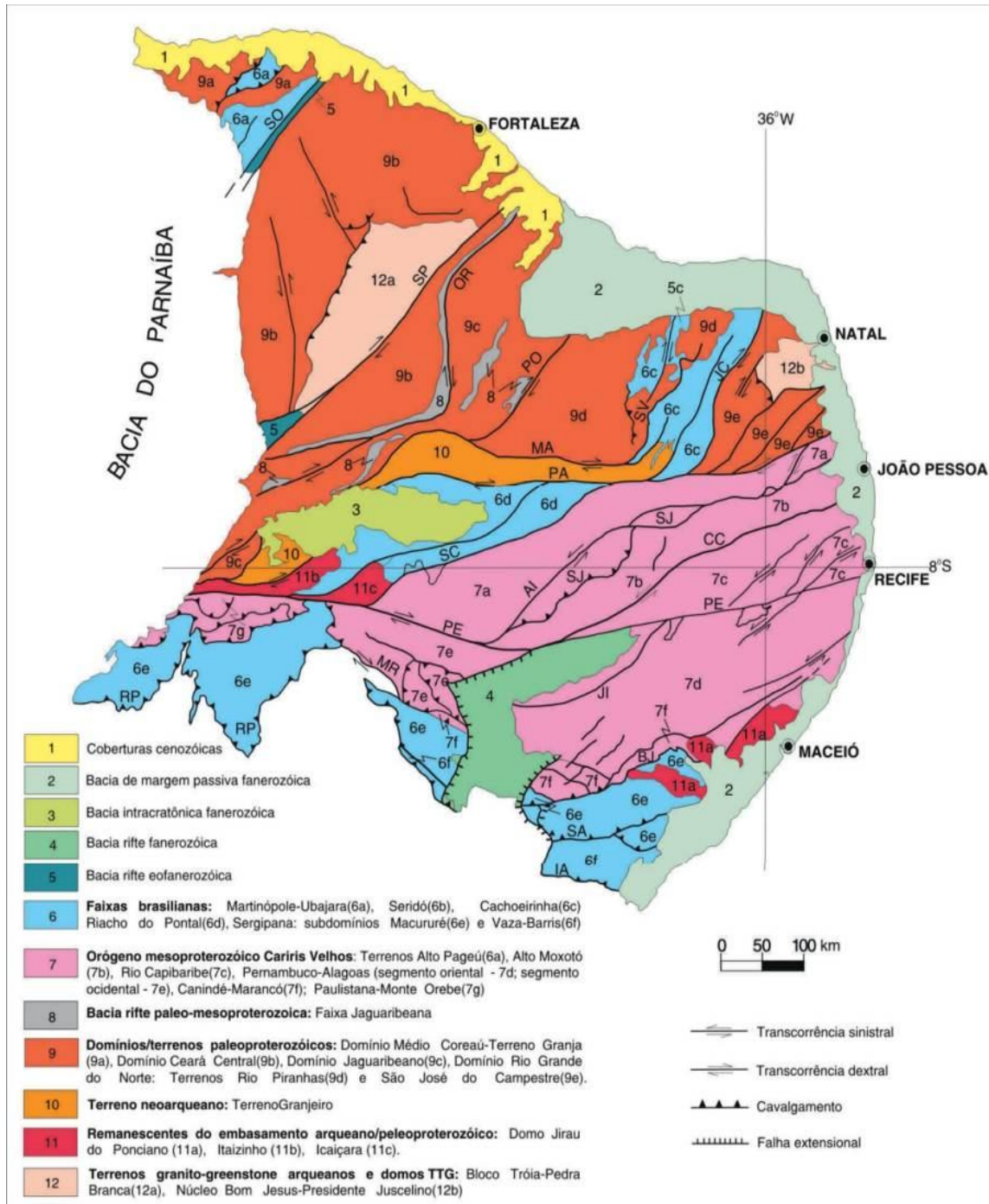
Os rios intermitentes predominam na região devido à condição climática de semi-aridez que a região apresenta. Além disso, observa-se que as bacias hidrográficas apresentam direção NE-SW, o que significa um forte controle estrutural regional, como por exemplo, o lineamento Sobral-Pedro II. Além disso, o padrão de drenagem dominante é subdendrítico de densidade média. A hidrografia cearense é segmentada em quatro bacias, na qual a subárea estudada localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú. Esta bacia apresenta uma área de 9.334 km<sup>2</sup> e mostra uma forma grosseiramente quadrada. O volume desta bacia é de 94.725 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/ano, o que representa 3,47% da água que escoia superficialmente ou infiltra para os aquíferos subterrâneos locais.

## 11 GEOLOGIA REGIONAL

### 11.1 PROVÍNCIA BORBOREMA

A Província Borborema (PB), (ver figura 37), está localizada no nordeste do Brasil e representa uma área de cerca de 450.000 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados do Maranhão, Piauí e principalmente Ceará, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco e a porção norte da Bahia. O termo “Província Borborema” foi inicialmente aplicado por Almeida *et al.* (1977) in Brito Neves *et al.* (2001) para o segmento leste da região nordeste da Plataforma Sul-Americana. Esta província ocupa a porção mais ocidental do Brasil. Situa-se na Região Nordeste e possui dimensões territoriais de 450.000 km<sup>2</sup> (FETTER, 2003). Trata-se de um cinturão orogênico (FETTER, 2000) com diversas litologias, separados por falhas e lineamentos. A Província estende-se ainda sob a Bacia Sedimentar do Parnaíba, provavelmente englobando a Faixa Araguaia (MABESSONE, 2002).

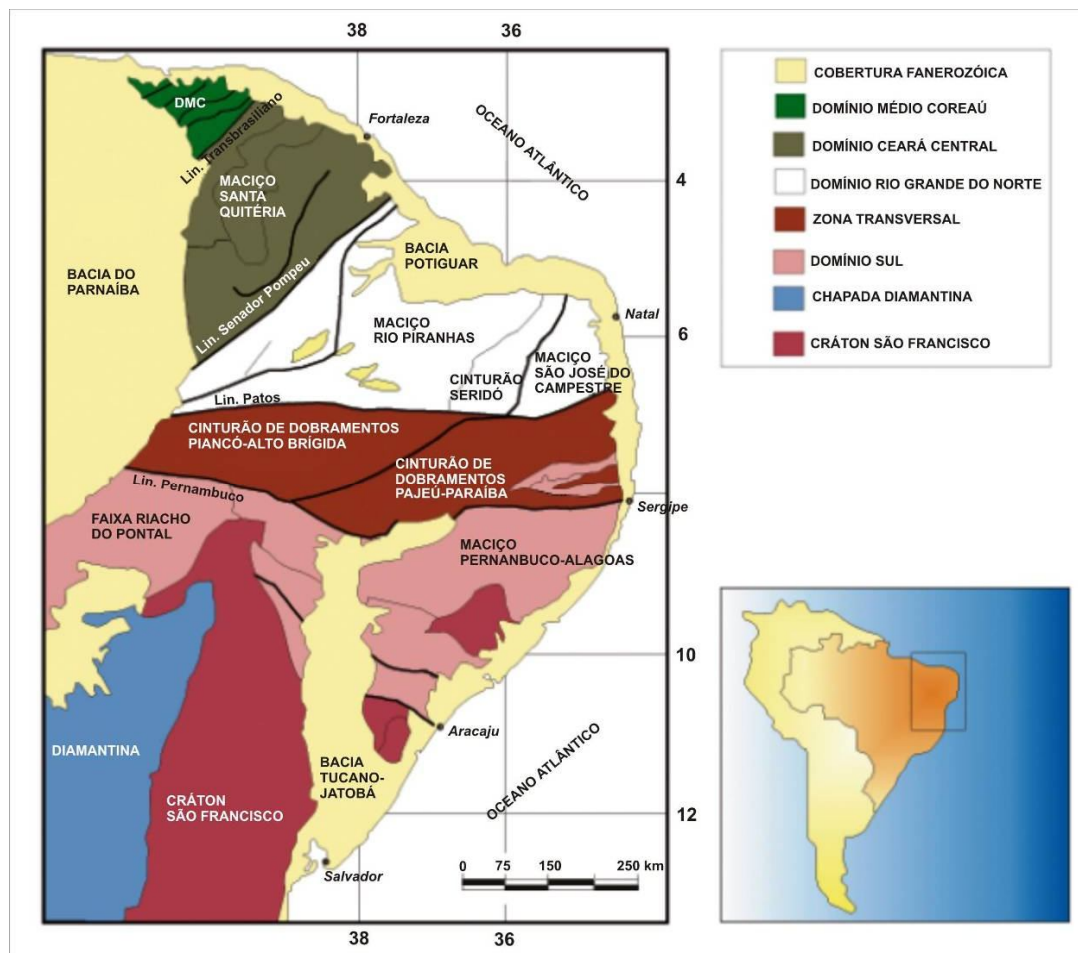
As estruturas e litotipos desenvolveram-se em dois ciclos tectônicos distintos: a Orogenia Cariris Velho, datado do Mesoproterozóico Superior ao Neoproterozóico Inferior (Esteniano – 1200 M.a a Toniano – 850 M.a) e a Orogenia Brasileira, do Neoproterozóico Superior (650 M.a).



Mapa 04 - Mapa Geológico da Província Borborema com subdivisão em domínios tectônicos e estruturas. Zonas de cisalhamento: Sobral-Pedro II (SO), Senador Pompeu (SP), Orós-Aiuaba (OR), Porto Alegre (PO), São Vicente (SV), Pauí-JoãoCamara (JC), Malta (MA), Serra do Caboclo (SC), Congo-Cruzeiro do Nordeste (CC), Serra da Jabitaca (SJ), Jatobá-Itaíba (JI), Macururé - Riacho Seco (MR), Belo Monte - Jeremoabo (BJ), São Miguel do Aleixo (SA) e Itaporanga (IA); Lineamentos: Patos (PA) e Pernambuco (PE); 'Nappes' da Faixa Riacho do Pontal (RP). Fonte: Bizziet al. (2003).

## 11.2 DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

A Subprovíncia Setentrional é constituída pelos domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte (Figura 12). Neste trabalho será dada ênfase apenas nos dois primeiros domínios, os quais estão representados na área de trabalho em consideração. Segundo Brito Neves *op. cit.*, foi possível individualizar cinco domínios estruturais dentro da Província Borborema (Figura 13), provavelmente originados na atual configuração por volta do Cambriano (545 – 505 M.a).



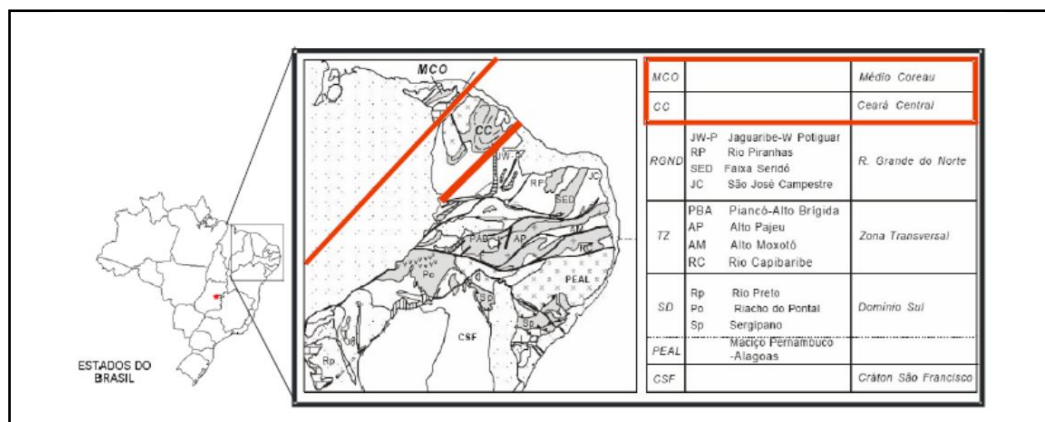
### 11.2.1 Domínio Médio Coreau (DMC)

Localizado na porção noroeste do estado do Ceará e nordeste do estado do Piauí e limitado pelo Lineamento Sobral – Pedro II, o DMC é formado por um embasamento de rochas metamórficas de alto grau, com idades em torno de 2.35 G.a. (Riaciano), anterior ao Evento Transamazônico, por seqüenciavulcano-sedimentar (Grupo Martinópolis) e por sedimentos clásticos finos e químicos (Grupo Ubajara) datados do Neoproterozóico. Bacias Transtensionais e plútons pós-orogênicos ocorrem ao longo do Lineamento Sobral – Pedro II, encobertos a SW por sedimentos da Bacia do Parnaíba.

### 11.2.2 Domínio Ceará Central (DCC)

Encontra-se limitado pelos lineamentos Sobral – Pedro II e Senador Pompeu. É constituído por embasamento gnáissico-migmatítico, formado na Colagem Transamazônica (2.2 – 2.1 G.a. - Riacyano), e por enclaves arqueanos (Maciço Tróia – Tauá), incorporados durante este evento.

Além dessas litologias, o domínio ainda abrange seqüências supracrustais Vulcano sedimentar (Grupo Independência) e plútons de idades brasileiras (Batólito Santa Quitéria), ambos datados do Neoproterozóico Superior. O plutonismo evidenciado na área pela presença do batólito fornece características isotópicas e geofísicas sugerindo que esta região é, na verdade, uma evidência de ambiente de arco magmático continental (FETTER *et al.*, 2003).

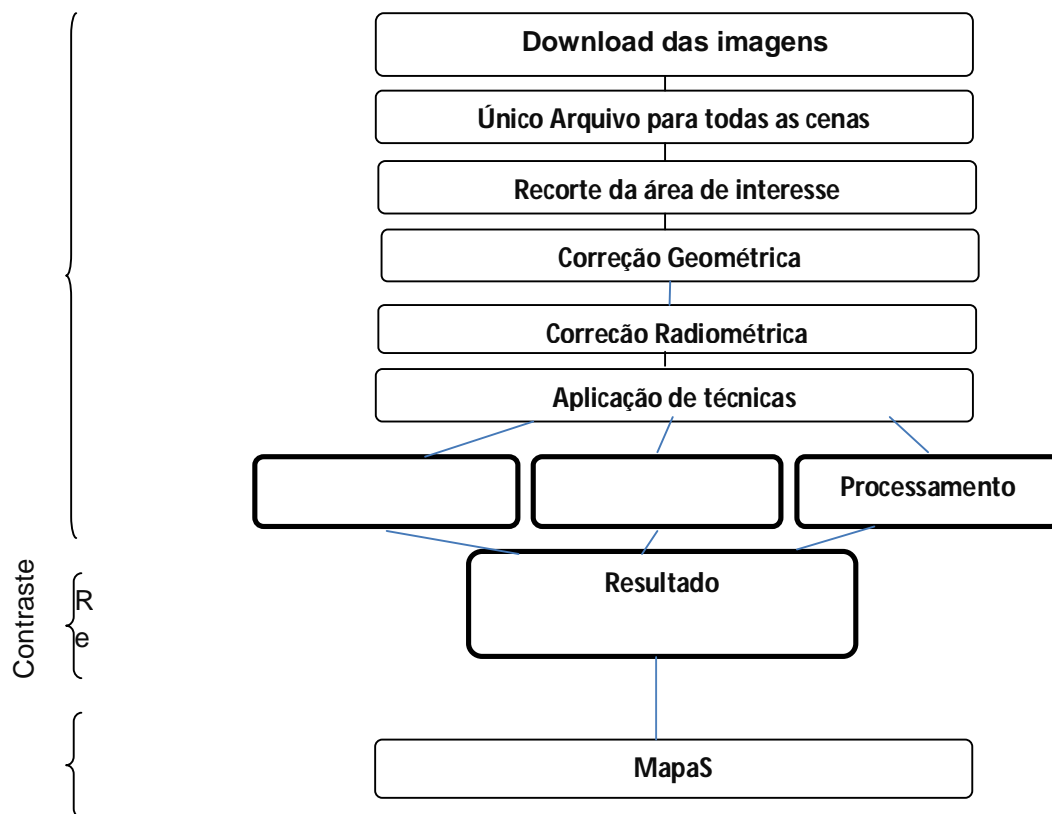


Mapa 06 – Localização dos domínios da Província Borborema com destaque para os domínios Médio Coreau e Ceará Central que estão presente na área de trabalho (NEVES *et al.*, 2001).

## 12 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS

### 12.1 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS (PDI) DA ÁREA DE TRABALHO

O Processamento dos dados de sensoriamento remoto está mostrados na figura 14. Estes foram feitos na área de recorte que é limitada pelos paralelos 4°00'0" N e 4°15'0"S e pelos meridianos 40°45'0"E e 40°30'0"W.



Fluxograma 01 - Fluxograma do trabalho feito por sensoriamento remoto.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é a manipulação dos dados procedentes dos instrumentos de captação e armazenamento da energia eletromagnética. Esses dados são processados em softwares de PDI específicos para essa aplicação (ENVI). Os procedimentos e técnicas aplicados

pelos softwares de PDI objetivam melhorar o poder de discriminação dos objetos e corrigir distorções.

Para o recobrimento de toda a área de trabalho foi necessária uma cena do LANDSAT/TM, o ponto utilizado foi 218 e a órbita 063 (WRS 2: 218/063). A data de aquisição da imagem é 10 de julho de 1999. Essas imagens foram tratadas no software ENVI 4.3

As bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 de cada cena foram colocadas em um mesmo arquivo, e em seguida foi recortada a área de interesse.

As imagens dos sensores remotos utilizadas nesse trabalho foram processadas e interpretadas com o objetivo de retirar informações de natureza textural e estrutural, impressas nas formas de relevo, indicadoras tanto da composição litológica como das estruturas geológicas presentes no substrato. Neste trabalho optou-se pela utilização das imagens LANDSAT-TM, e SRTM, que são disponibilizadas gratuitamente na internet, e são compatíveis com a escala de trabalho proposta.

As imagens do recorte da área de trabalho foram corrigidas geometricamente, através do registro dessas imagens com uma imagem Geocover 2000 (ver Figura 15). Esse procedimento consistiu na aquisição de pontos de controle facilmente localizáveis tanto na imagem do projeto Geocover 2000, como na imagem de recorte da área de trabalho.

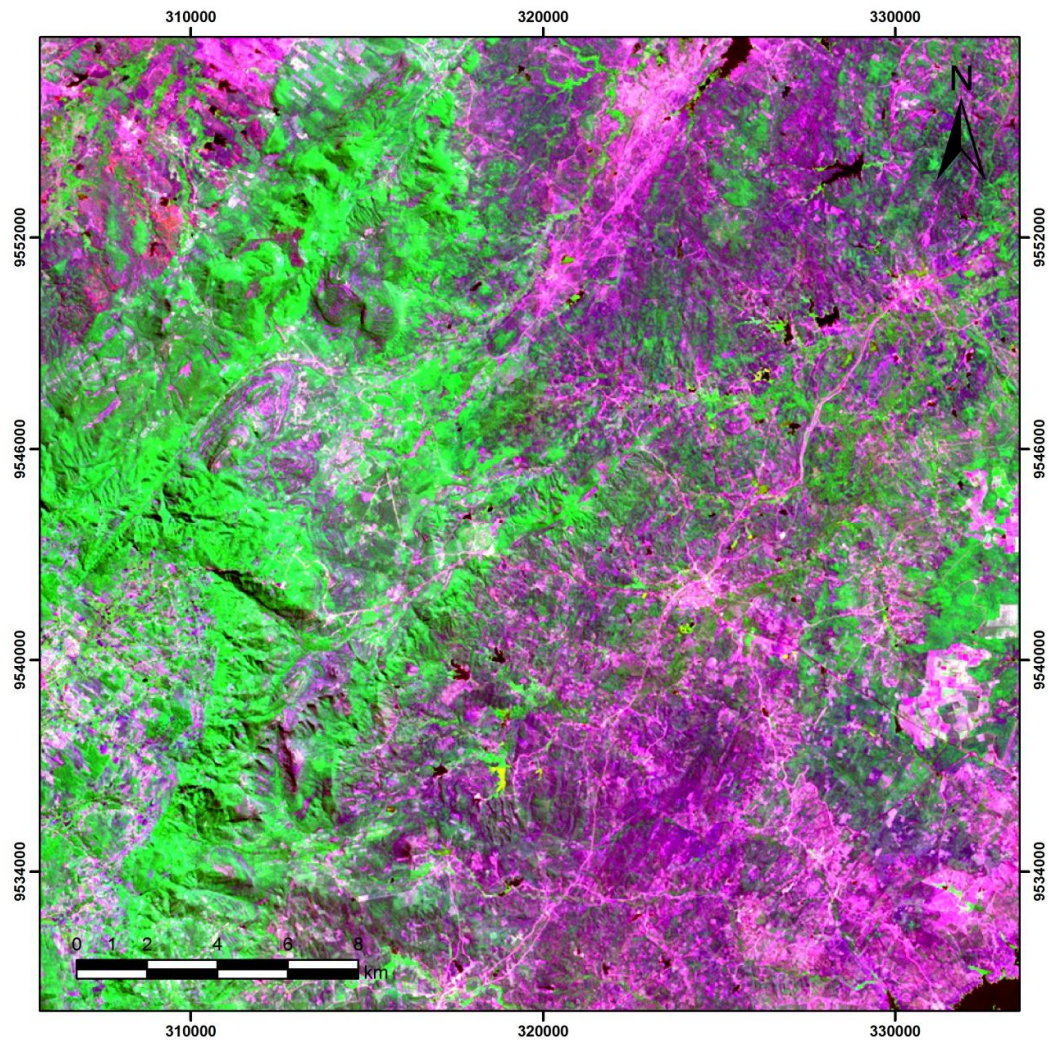


Imagem 09 – Recorte da Imagem Geocover 2000 da área do trabalho, utilizando as bandas 543.

Após a correção geométrica das imagens, foi realizado o processo de correção radiométrica, com o objetivo de corrigir distorções espectrais causadas pelo espalhamento da radiação eletromagnética, devido a sua interação com a atmosfera. Com a finalidade de ressaltar as informações geológicas e estruturais, foram aplicadas diversas técnicas de realce.

Para o recobrimento de toda a área de trabalho foram necessárias duas cenas do LANDSAT/TM (WRS 2: 218/062 de 30/09/2000 e WRS 2:

218/063 de 10/07/1999). As imagens Landsat TM foram tratadas no software ENVI 4.3, programa licenciado utilizado no LAIT (Laboratório de Análise de Imagens do Tropical Úmido), que através de técnicas de filtragem, realce, razão e composição de bandas, geraram diferentes imagens, ressaltando não somente os diferentes tipos de litologia da área em foco, como também os *trends* estruturais e contatos geológicos.

## 12.2 RAZÕES ENTRE BANDAS E COMPOSIÇÕES

Aqui, é apresentada a operação razão entre bandas, que é composta por diversas operações matemáticas, a fim de se obter sutis diferenças existentes no comportamento espectral de diferentes objetos, o que permite discriminar diversos alvos em uma mesma imagem. Assim, observando o comportamento espectral dos alvos de interesse para a aplicação da razão entre bandas, as bandas devem ser selecionadas visando seus valores máximos e mínimos de reflectância, a fim de que se expressem os gradientes da curva espectral dos objetos de interesse, proporcionando o realce destes alvos. Sabe-se que a operação de razão entre bandas mostra-se bastante eficiente para estudos geoambientais como de caracterização, intervenção e/ou recuperação ambiental de áreas degradadas, devido à sua maior informação de determinados objetos, através da individualização dos mesmos.

As imagens dos sensores remotos utilizadas nesse trabalho foram processadas e interpretadas com o objetivo de retirar informações de naturezas: textural e estrutural impressas nas formas de relevo indicadoras tanto na composição litológica como das estruturas geológicas presentes no substrato.

As razões entre as bandas RGB (7/1, 5/1 e 3/1) e (3/1, 5/7, 4/2), nas figuras 16 e 17, foram implementadas neste trabalho com o intuito de atenuar os valores de brilho relacionadas à topografia, gerando uma melhor distinção entre as diferenças espectrais dos alvos.

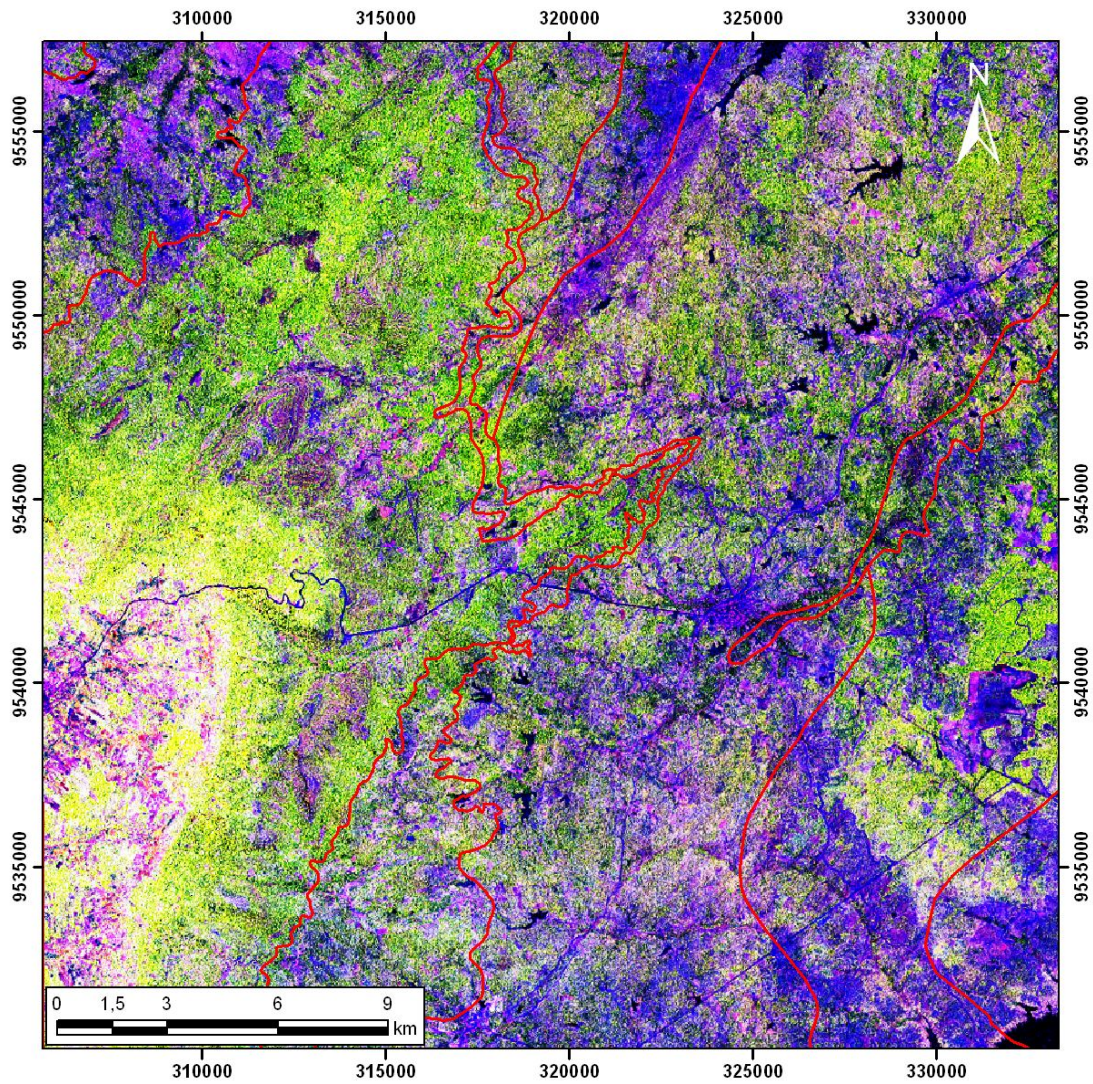


Imagem 10 - Razão das bandas 7-1 5-1 3-1 com separação litológica

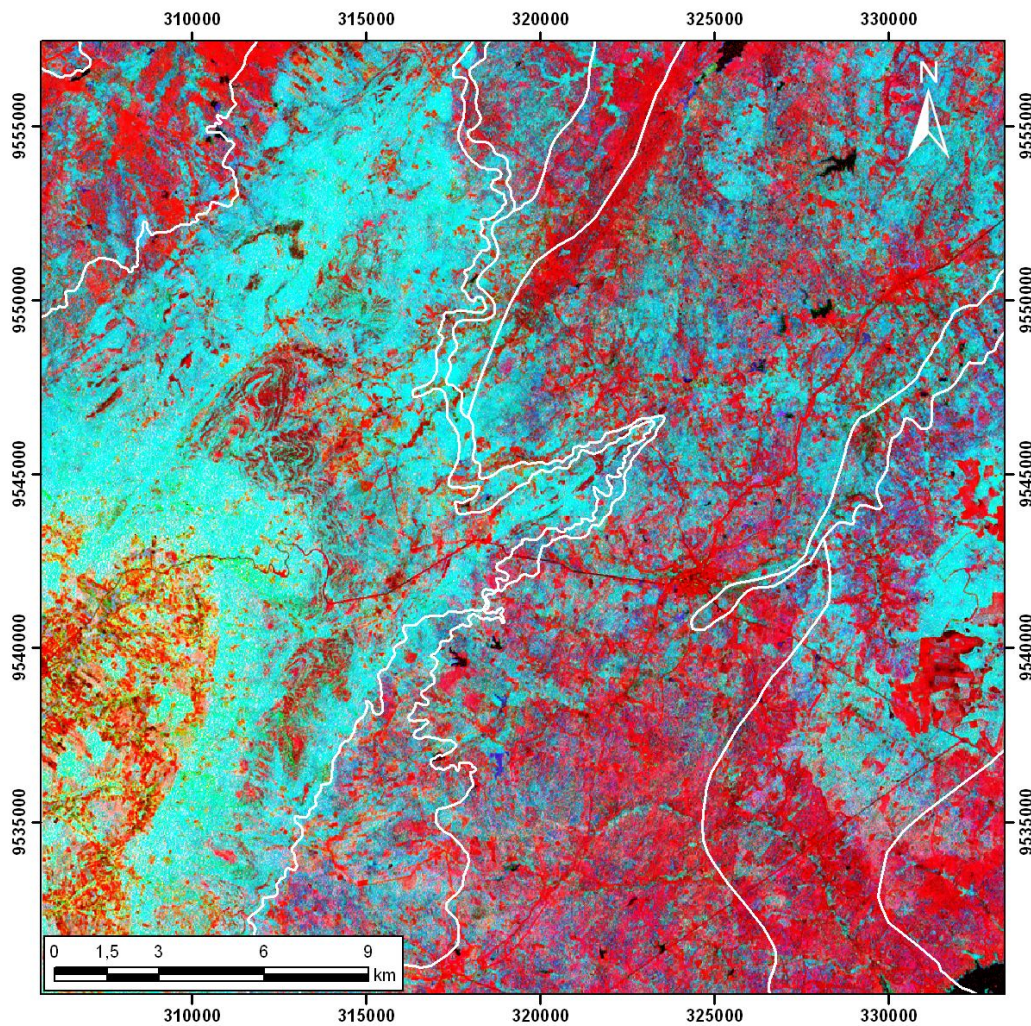


Imagem 11 - Razão das bandas 3-1 4-2 5-7 com separação litológica.

Foram feitas composições coloridas RGB\_732 e RGB\_531 (ver Figuras 18 e 19), para efetuar comparações relativas às informações obtidas em cada uma.

As composições foram efetuadas com o objetivo de ressaltar os aspectos geológicos da região. Em todas as imagens é possível notar uma grande divisão das unidades geológicas nas porções leste e oeste da área. Separando essas duas grandes feições tem-se uma estrutura NE / SW que é perceptível em todas as imagens na parte central da imagem.

Os produtos obtidos do processamento das imagens LANDSAT, foram satisfatórios e auxiliaram na delimitação das grandes unidades

litológicas, tais como o Granodiorito Anil, na porção sudeste das imagens e a Formação Serra da Ibiapaba na parte oeste da área, sendo esta a borda da Bacia do Parnaíba.

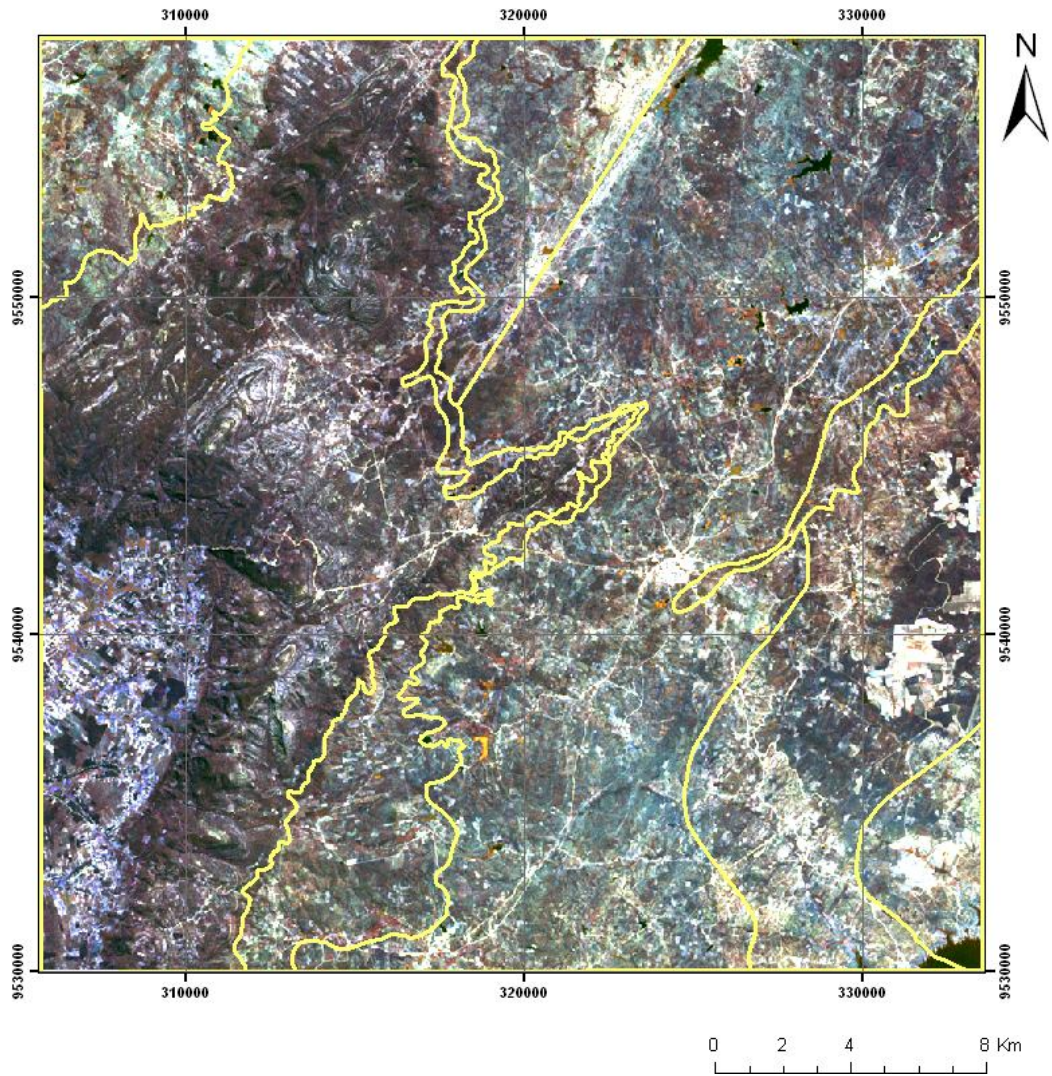


Imagem 12 - Composição das bandas 7, 3 e 2, com separação litológica.

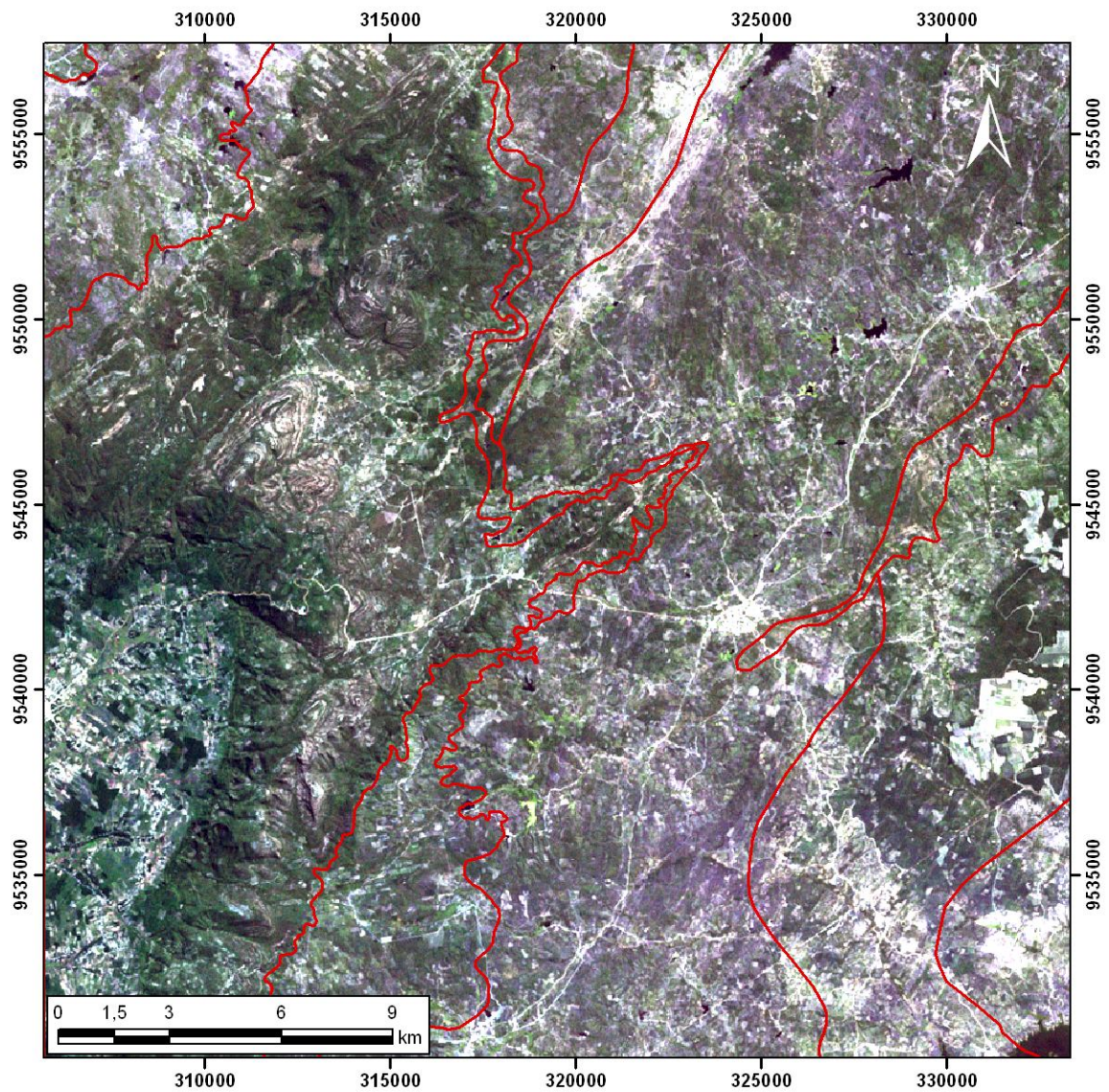


Imagem 13 - Composição das bandas 5, 3 e 1 com a separação litológica.

## 13 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT/TM

### 13.1 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE BANDAS INDIVIDUAIS

Foram utilizadas as bandas 4 (IR próximo), 5 e 7 para análise isolada, por serem as que melhor se prestam para trabalhos geológicos, os quais envolvam mapeamentos de rochas e de estruturas, Martini (2002).

A análise isolada dessas bandas permitiu uma discriminação inicial das principais feições geológicas presentes nessa região.

Com a finalidade de ressaltar as informações geológicas e estruturais, foram aplicadas diversas técnicas de realce, dentre as quais tem-se o aumento linear de contraste, a filtragem, as transformações IHS e por principais componentes (ver Figuras 20 a 28).

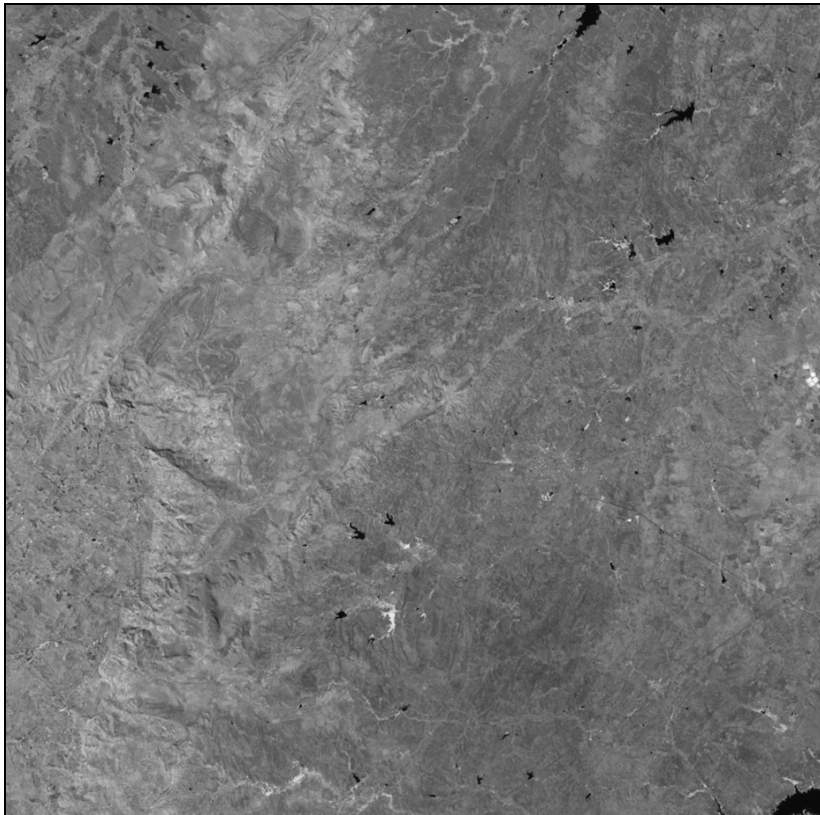
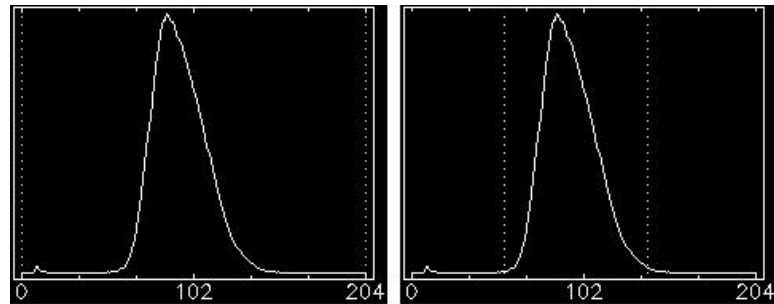


Imagem 14 – Banda 4 antes do realce de contraste.



Histograma 02 – Histogramas da banda 4 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.

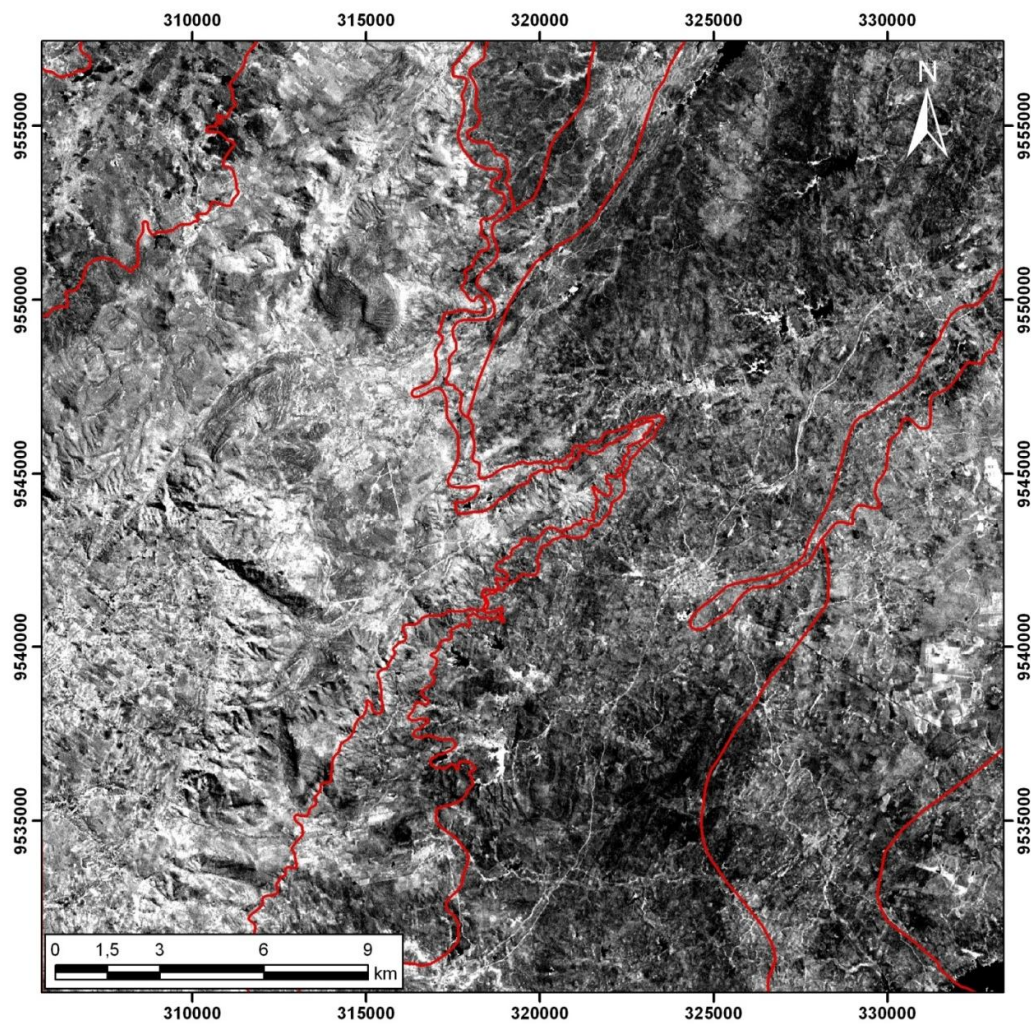
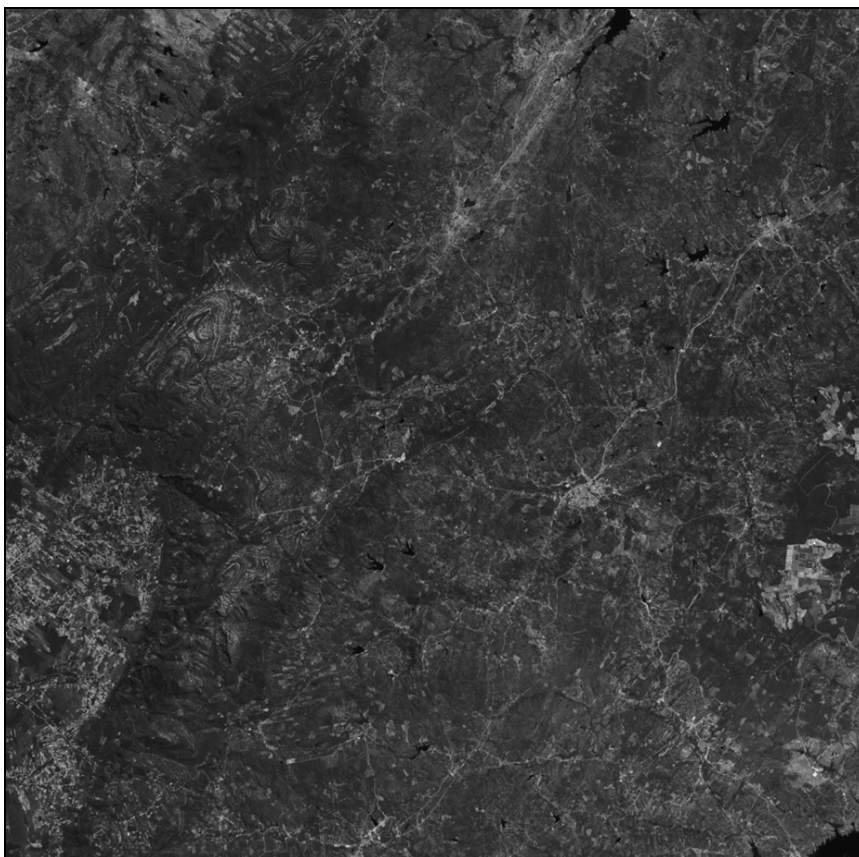
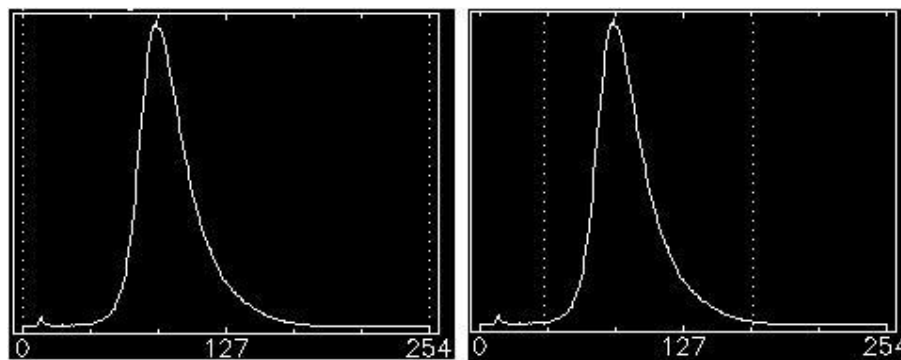


Imagem 15 – Banda 4 depois do realce de contraste e separação litológica.



17 – Banda 5 depois do realce de contraste e separação litológica.



Histograma 03 – Histogramas da banda 5 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.

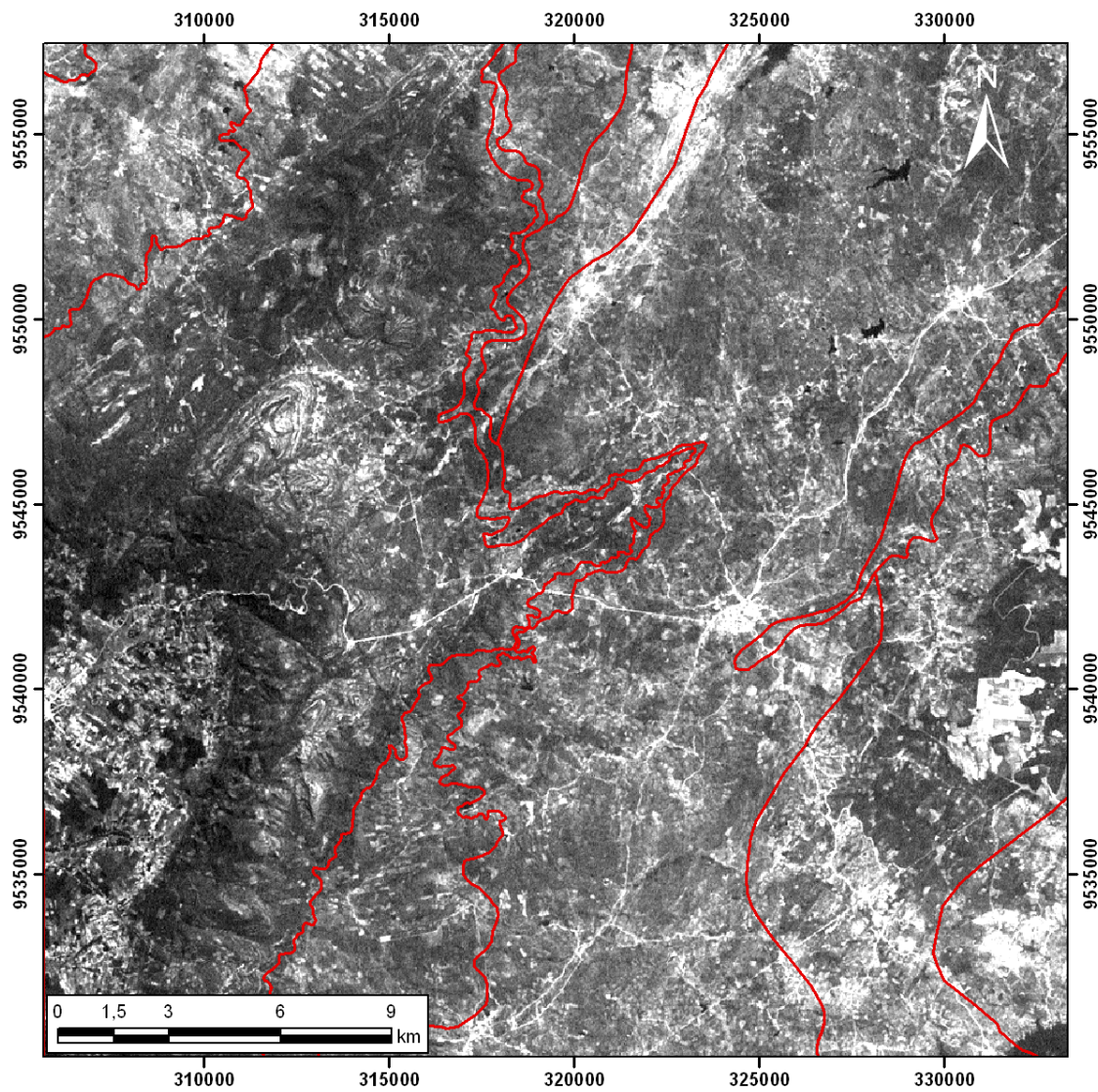


Imagem 18 - Banda 7 antes do realce de contraste.

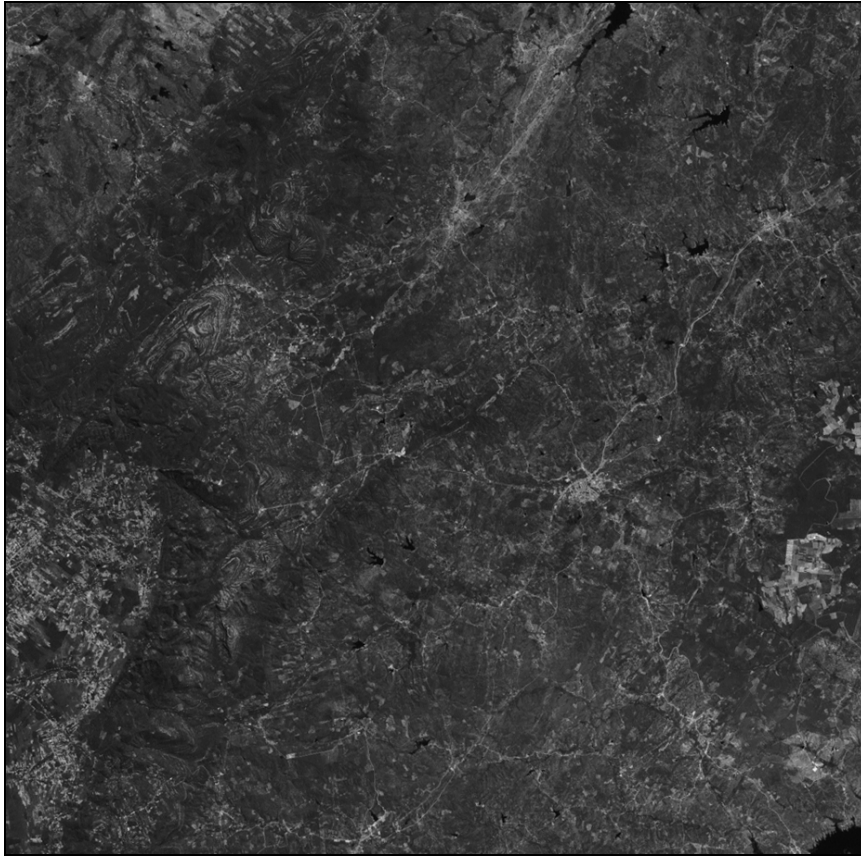
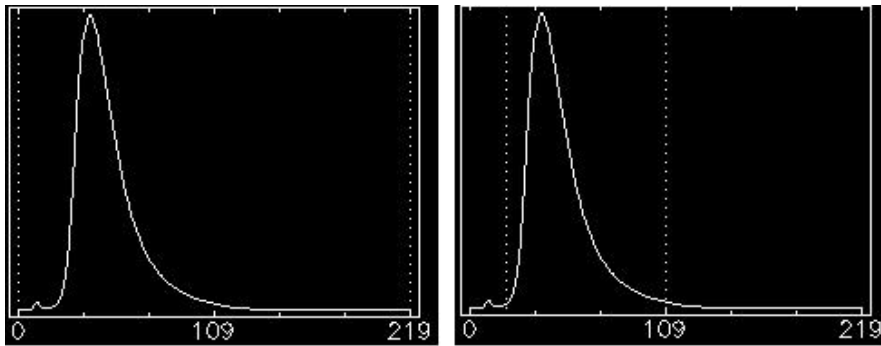


Imagem 19 – Banda 7 depois do realce de contraste e separação litológica.



Histograma 04 – Histogramas da banda 7 antes do realce de contraste à esquerda, e depois à direita.

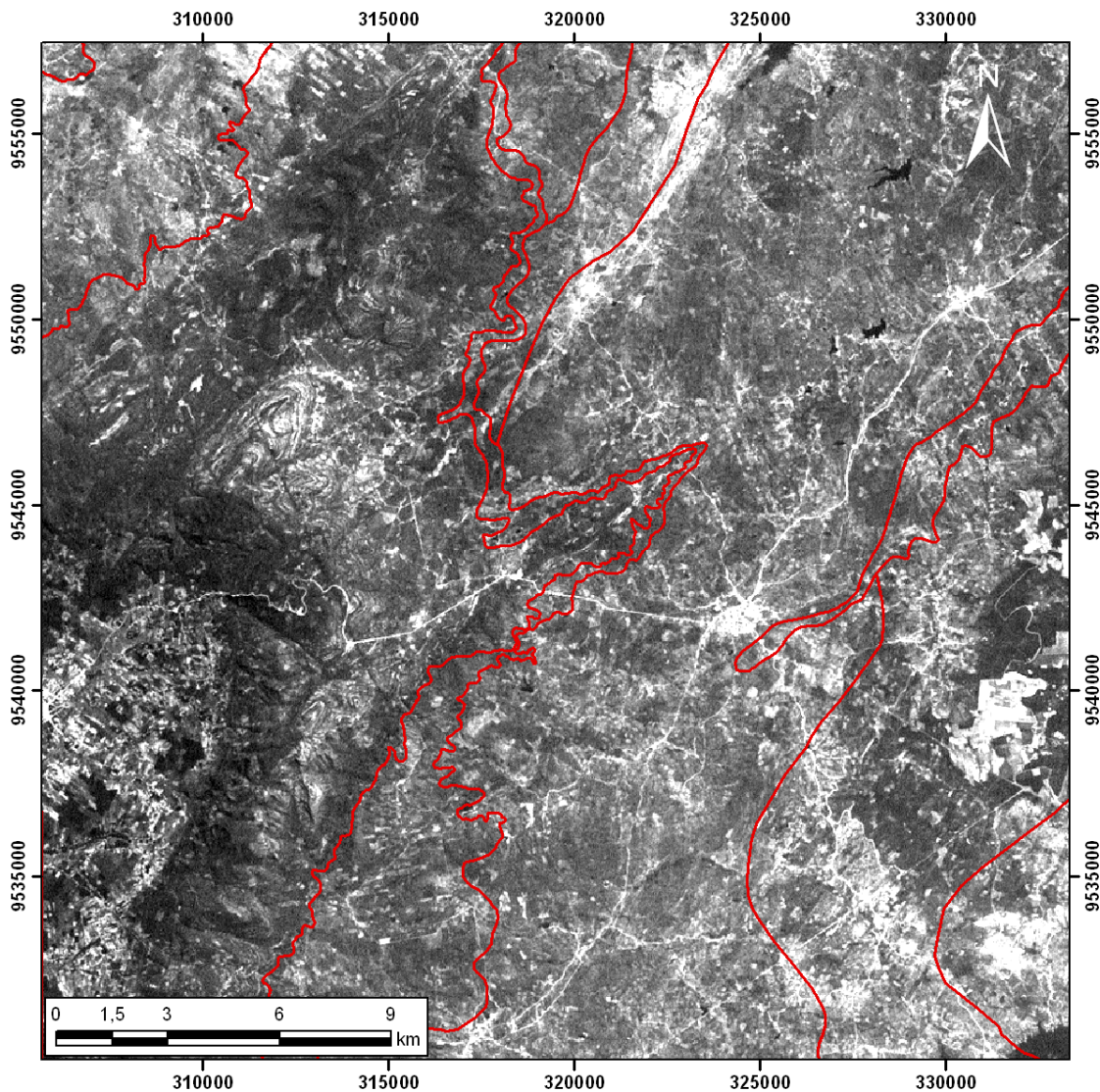
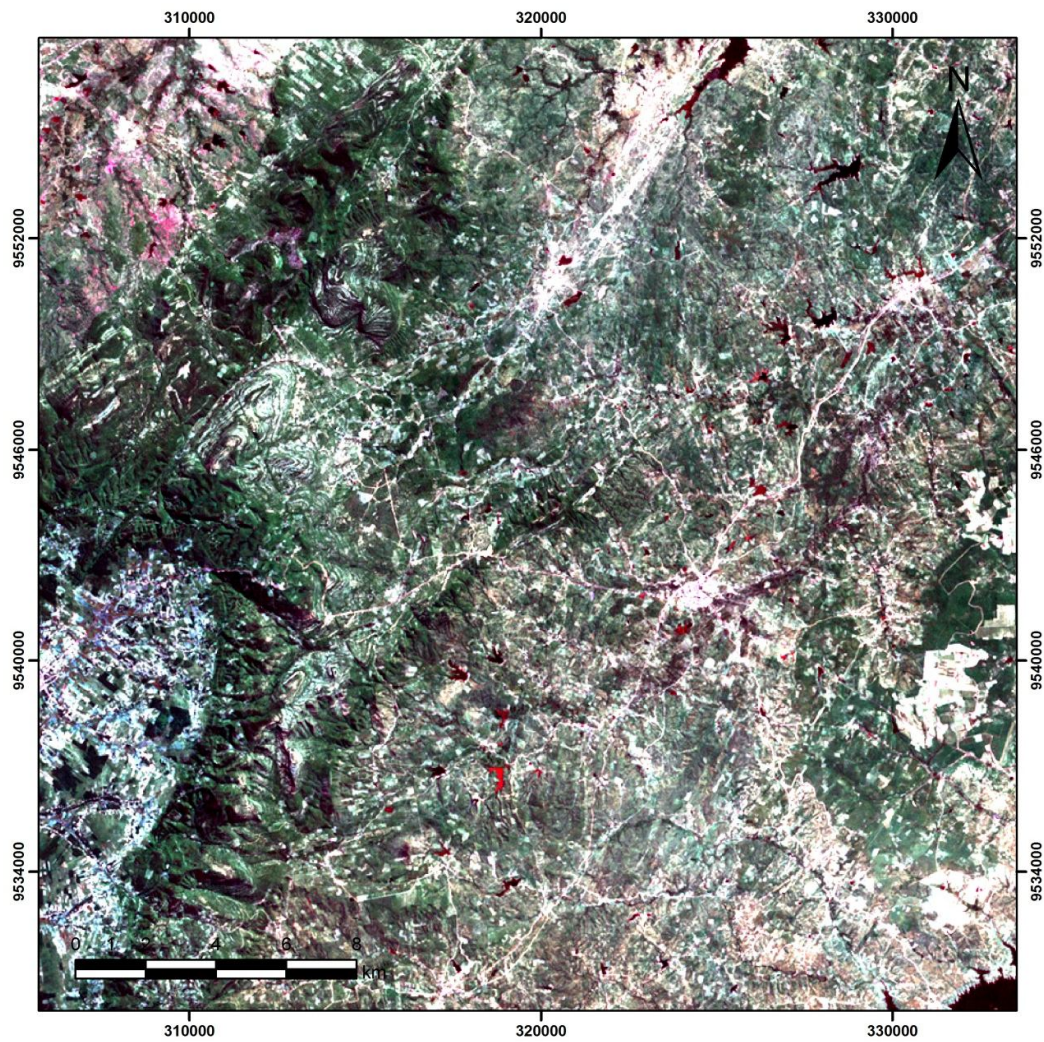


Imagem 18 – Banda 7 depois do realce de contraste e separação litológica.

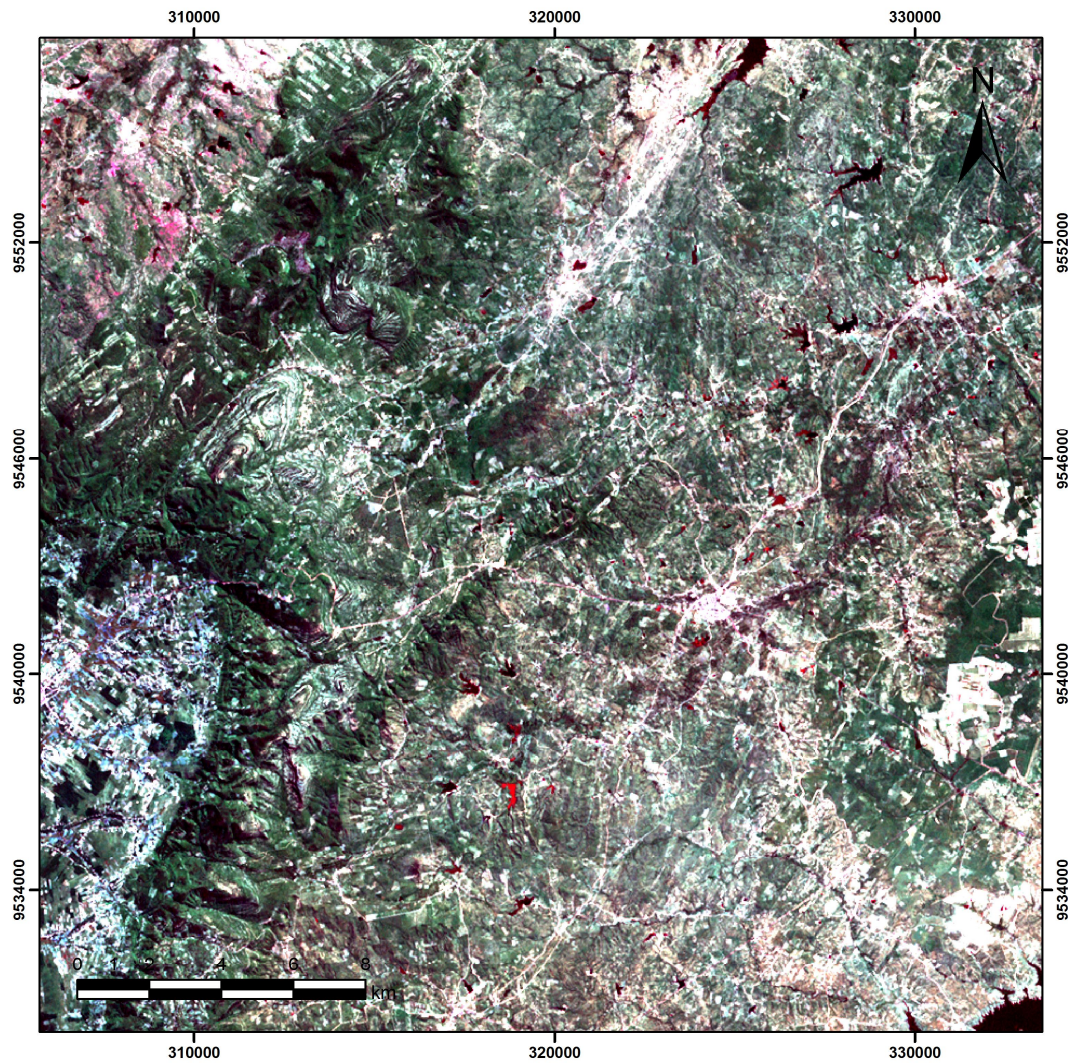
### 13.2 ANÁLISE DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Foram feitas diversas composições coloridas, para efetuar comparações relativas às informações obtidas em cada uma. Dentre as composições coloridas efetuadas destacam-se as composições, RGB\_753, RGB\_752, RGB\_732, RGB\_531 e RGB\_321 (Figuras 29 a 33), aos quais foram implementados ajustes lineares de contraste e não lineares de contraste (Gaussiano e Equalização de histograma). Todas as composições foram efetuadas a fim de se ressaltar a geologia da região. Nas imagens, é possível notar uma grande unidade geológica ou região serrana na

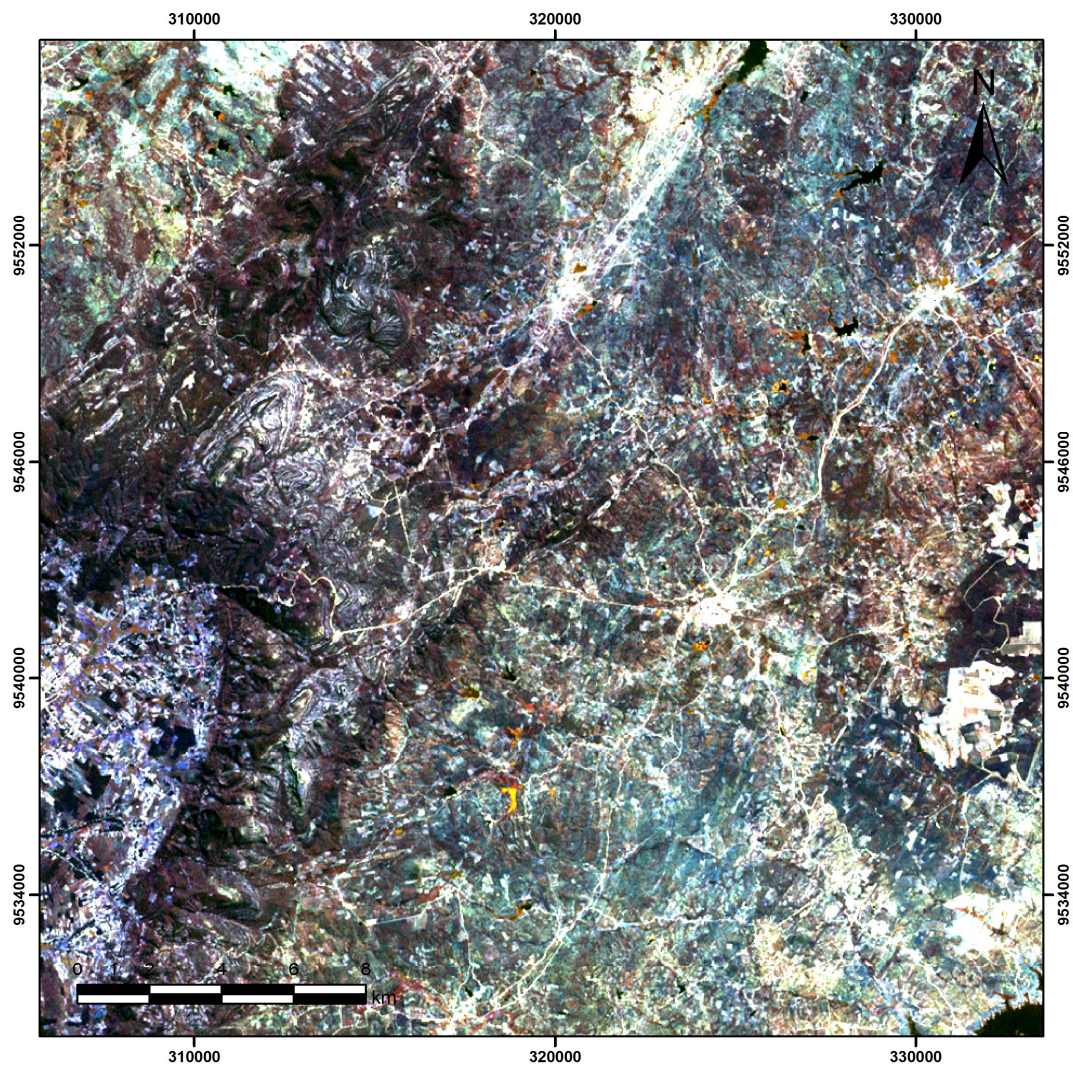
porção sudoeste da área. Outra feição de destaque são estruturas com direção preferencial NE-SW.



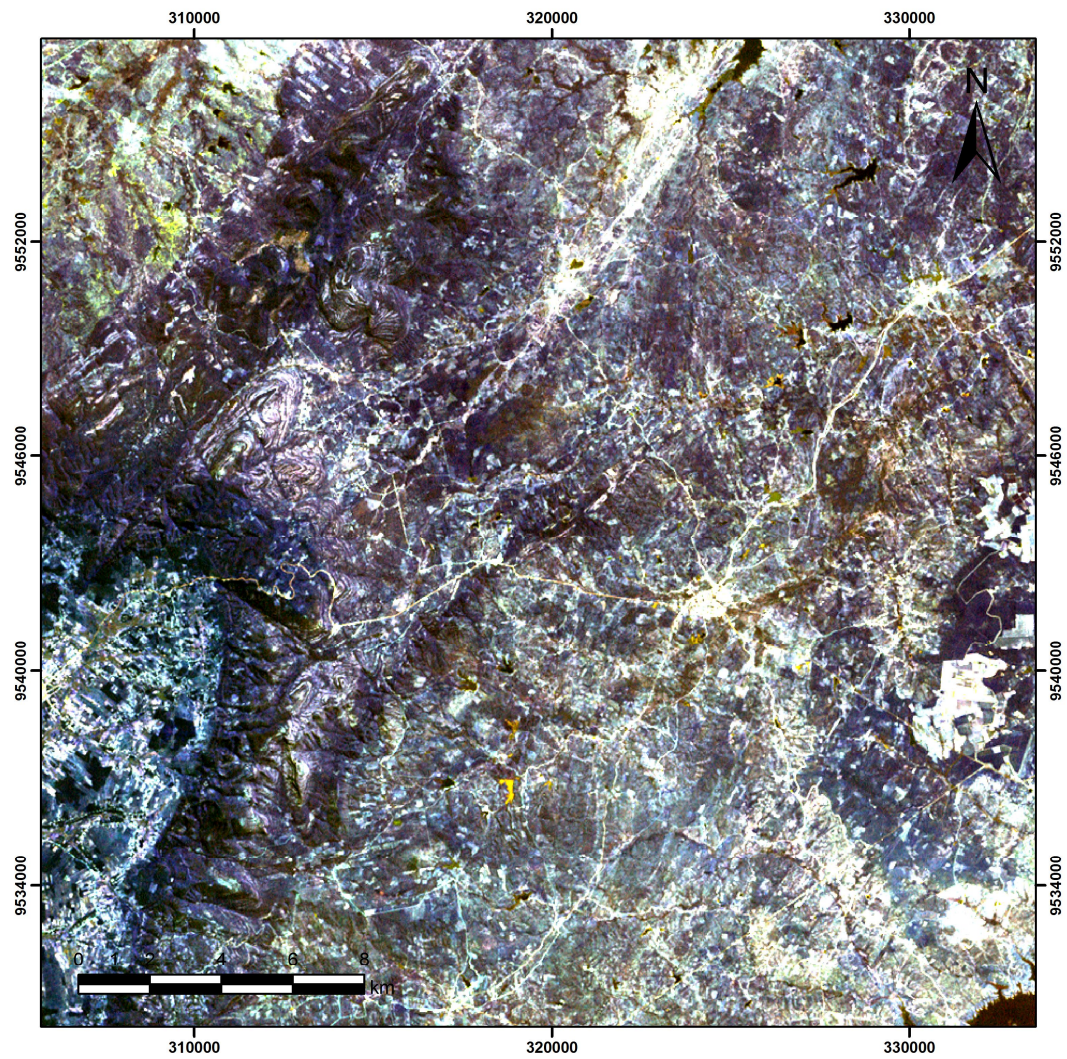
Mapa 07 – Composição colorida 753.



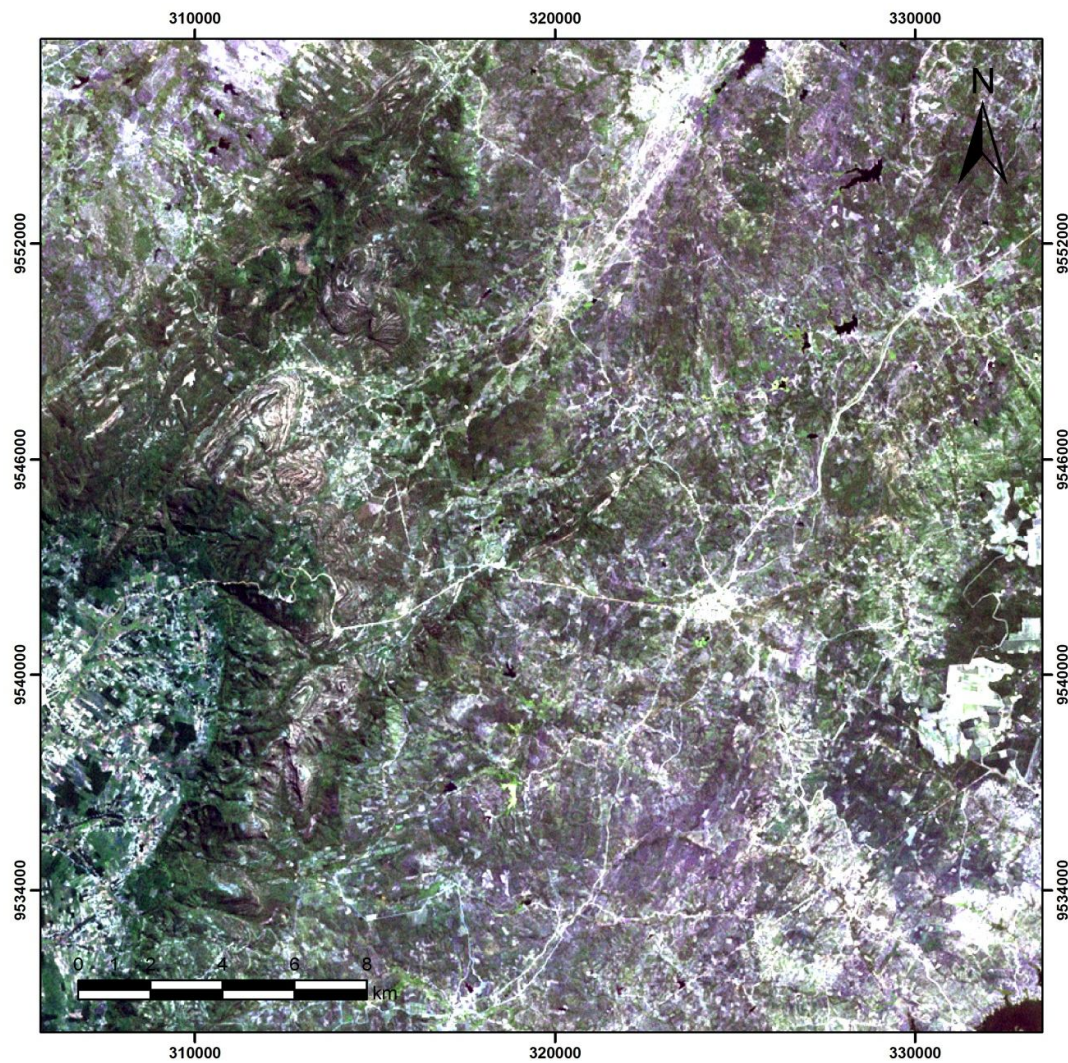
Mapa 08 – Composição colorida 752



Mapa 09 – Composição colorida 732, para ressaltar a geologia.



Mapa 10 - Composição colorida 531, para ressaltar a geologia



Mapa 11 - Composição colorida 321

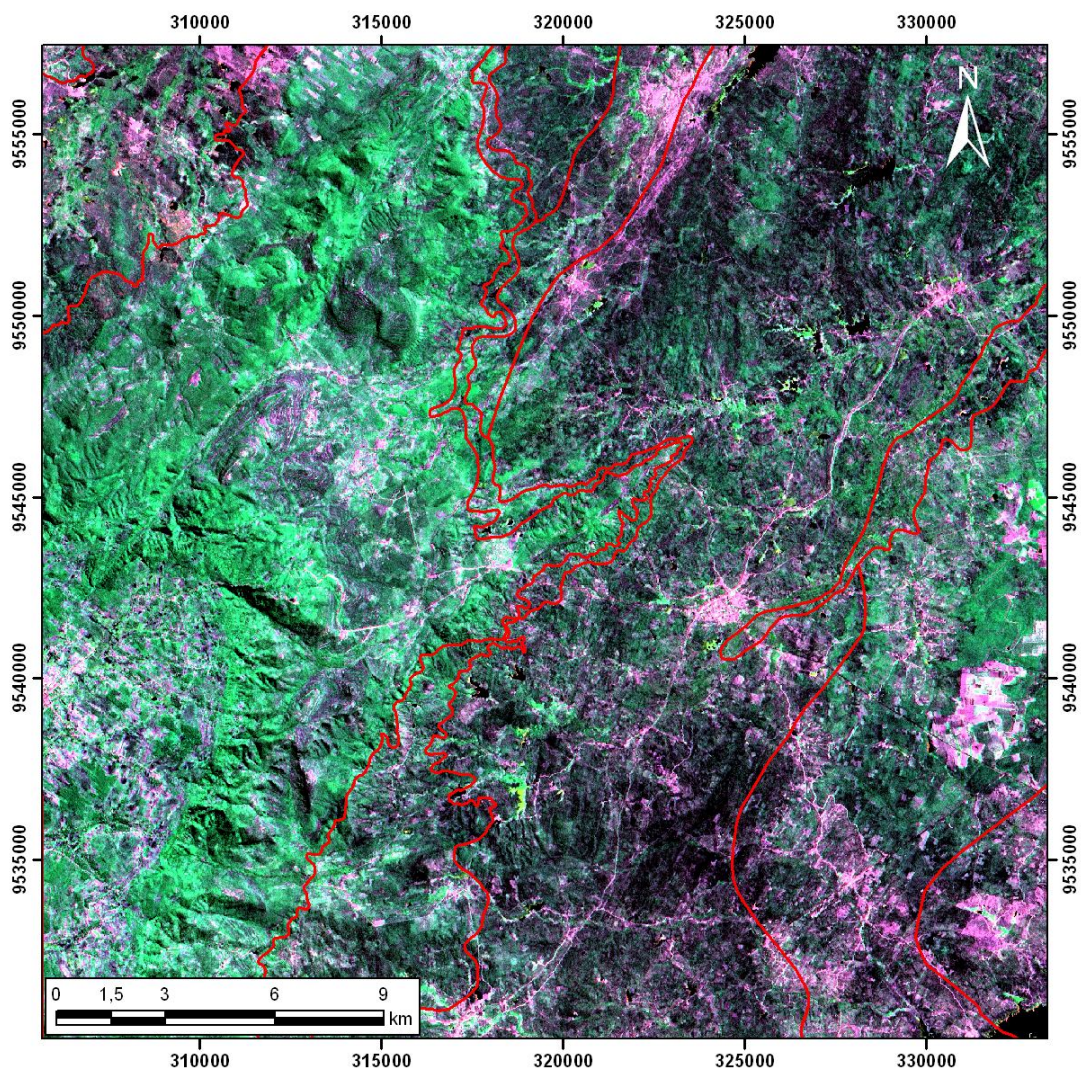
### 13.3 TRANSFORMAÇÃO IHS

As imagens digitais multiespectrais são apresentadas como uma composição colorida aditiva usando as três cores primárias: vermelho, verde e azul, ou seja, a combinação de Red, Green, Blue (RGB). Desde que se possa definir um espaço limitado de cor, onde cada uma das cores primárias ocupe um dos eixos ortogonais deste espaço (Cubo RGB), é possível representar quantitativamente qualquer cor como um grupo de três números ou coeficientes, projetado neste espaço.

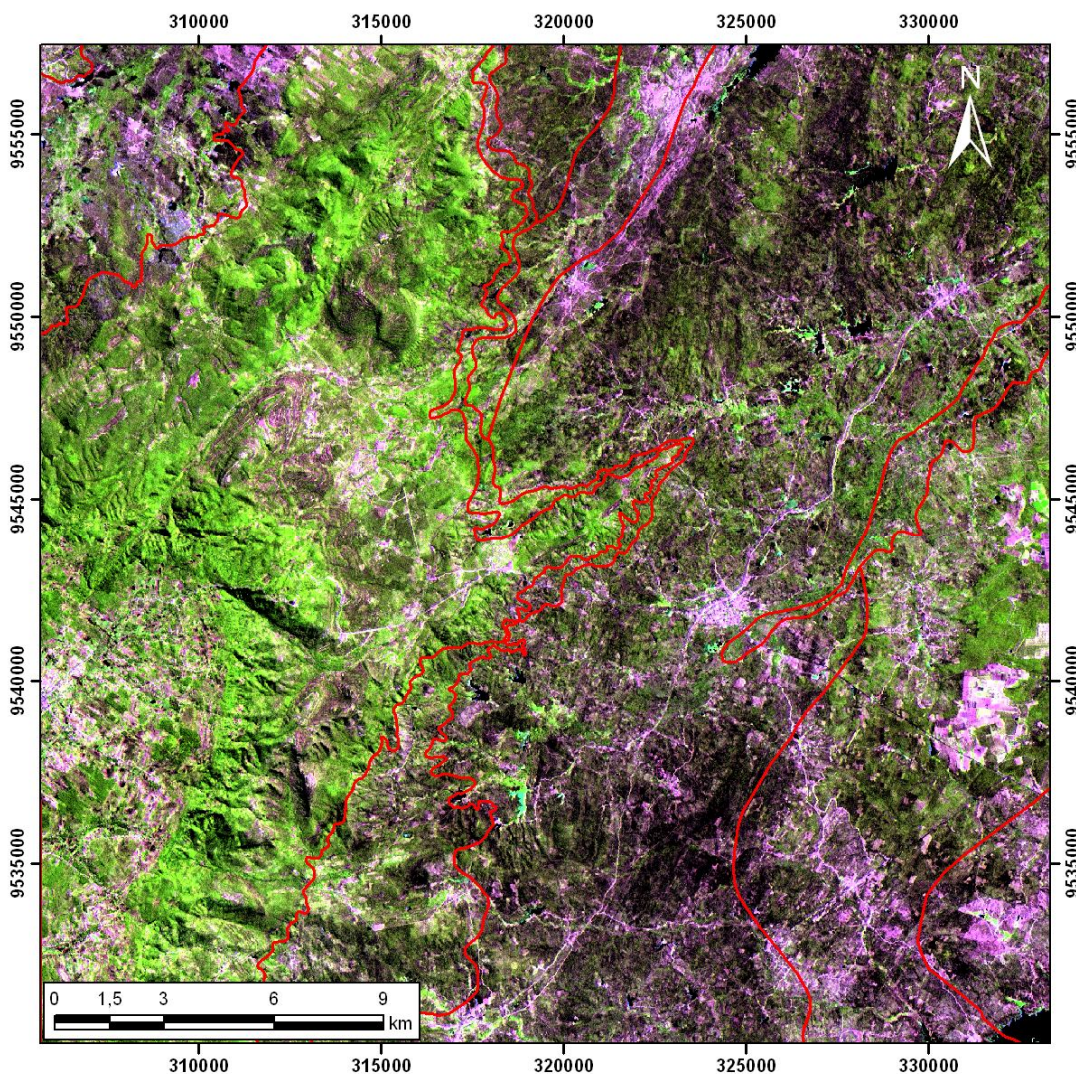
O sistema de Intensity, Hue, Saturation (IHS), é utilizado como uma forma alternativa do espaço RGB, onde as cores são definidas por três atributos em vez de quantidades de cores primárias. Verifica-se como vantagem destes atributos sobre o sistema RGB sendo que eles podem ser manipulados individualmente. Entretanto, há uma vantagem ainda maior e comumente utilizada em sensoriamento remoto que é a possibilidade de fazer a integração das imagens multisensores, multitemporais, multiespectrais e multiresoluções.

Como vantagens do sistema de coordenadas IHS sobre o RGB temos que os aspectos informativos de uma imagem são apresentados usando-se atributos de cores identificáveis e quantificáveis, podendo ser distintamente percebidos. As variações numéricas nos dados da imagem podem ser representadas de maneira uniforme num espectro de cores facilmente perceptível e; o controle individual sobre os componentes cromático (H) e acromático (S) da imagem são possíveis, Harris *et al* (1990).

Para este trabalho, inicialmente foi feita a transformação IHS das composições RGB 345 e 543 (ver Figuras 34 e 35). As imagens ressaltaram o aspecto geológico da área de trabalho, principalmente a composição IHS 543, que delimitou uma grande unidade litológica na porção noroeste e sudoeste, com a coloração verde, além de intercalações de dois litotipos, no mínimo, com características espectrais distintas.



Mapa 12 - Transformação IHS das bandas 345.



Mapa 13 - Transformação IHS das bandas 543.

#### 13.4 NOTAS SOBRE O PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

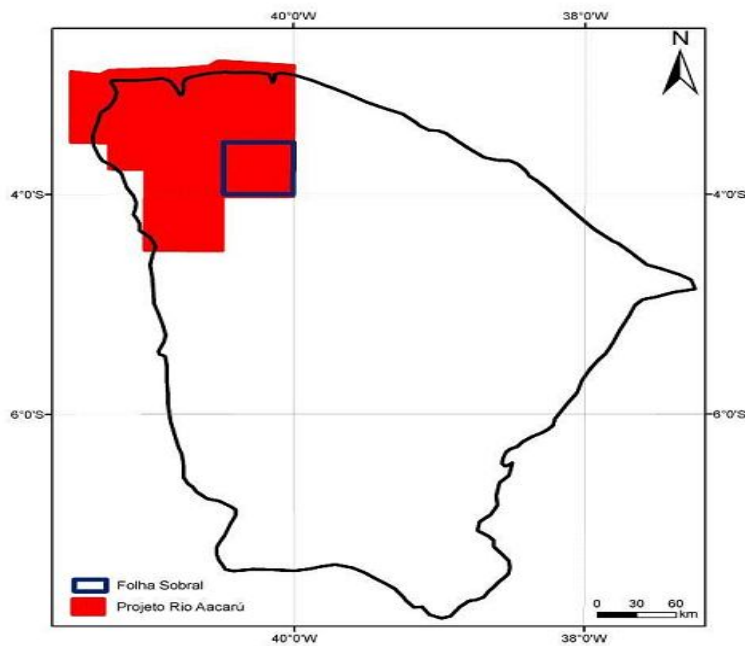
O processamento das imagens LANDSAT-TM com a finalidade de caracterização do comportamento lito-estrutural da região de Amanaiara- Reriutaba mostrou resultados satisfatórios, pois auxiliou na delimitação das grandes unidades litológicas, tais como o Granodiorito Anil, na porção sudeste das imagens e a Serra da Ibiapaba na parte sudoeste das imagens.

O Gráben Jaibaras que ocorre nas porções noroeste da área do trabalho também foi delimitado, tendo seu arranjo espacial configurado na direção NE-SW, e limitado pela Unidade Canindé que se mostra como uma “faixa” que ocorre na

porção central da área. Nas imagens foi possível observar o comportamento dos conjuntos litológicos segundo as direções preferenciais NE-SW, N-S e algumas poucas estruturas em NW-SE.

## 14 AEROGEOFÍSICA

As atividades que envolveram o tratamento das imagens, como o processamento e a interpretação dos dados aerofísicos magnéticos e radiométricos, foram feitos por Márcia Valadares dos Santos no ano de 2009 utilizando o software Oasis Montaj. Trabalho este, que foi feito para toda a região noroeste do estado do Ceará, em sua dissertação de mestrado e acompanhadas pela autora deste TCC. Atividades foram feitas a partir das informações do Projeto Rio Acaraú levantadas em 1974, e cedidas pela CPRM (ver Figura 36), compreendendo espaçamento entre linhas de vôo de 1km e altura de vôo de 150m, que recobriu a região do Ceará e Piauí. A aplicação destes procedimentos teve a finalidade de contribuir para uma melhor caracterização do arcabouço estrutural e dos litotipos presentes na região de Amanaiara-Reriutaba.



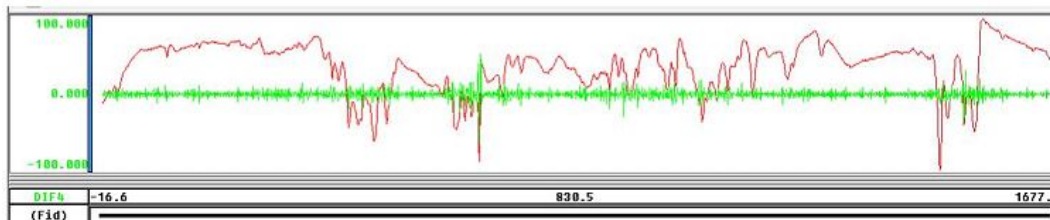
Mapa 14 - Localização do Projeto Aerogeofísico Rio Acaraú.

## 15 PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFISÍCOS

### 15.1 DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS

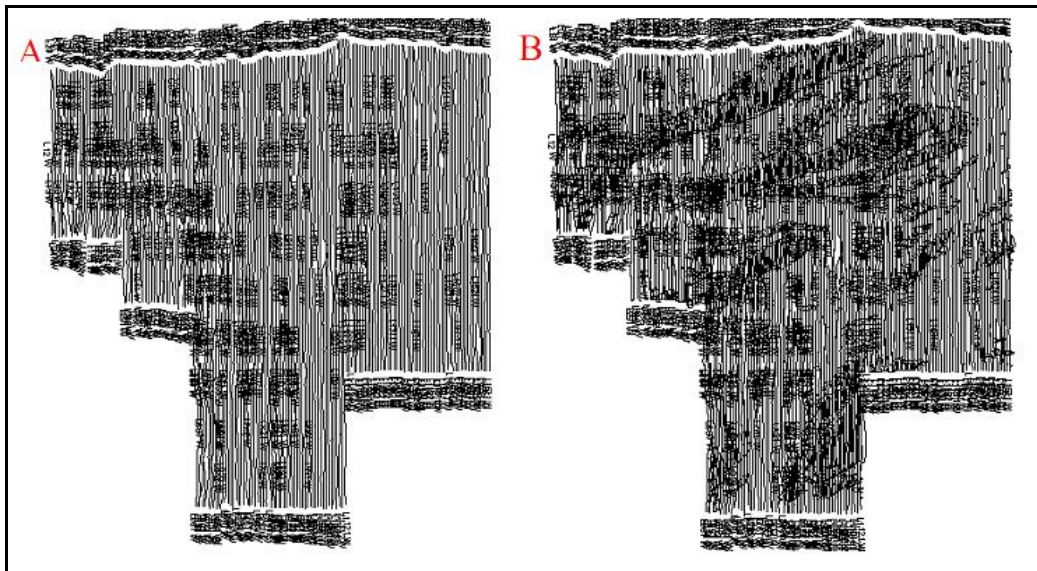
#### 15.1.1 Pré-processamento

Nesta etapa foi criada a base de dados a ser manipulada durante todo o trabalho de processamento. Foram feitos os testes de consistência dos dados, com o método da quarta derivada (ver Figura 37) e a análise dos perfis e utilização da técnica de perfis rebatidos (ver Figura 38), a fim de identificar problemas nas linhas de vôo e do tipo “efeito pepita” ou “picos”.



Histograma 05 - Perfil do campo magnético anômalo para método da quarta derivada.

Após esses procedimentos os dados foram interpolados em uma malha regular (grid), com espaçamento de célula de 250 m (1/4 do espaçamento da linha de vôo), por dois métodos: Curvatura Mínima e *Splines*Bi-Cúbicos. Sendo que utilizando a Curvatura Mínima obtiveram-se resultados mais satisfatórios (ver Figura 39).



Mapa 15 - A) Mapa de Linhas de vôo; B) Perfil Rebatido.

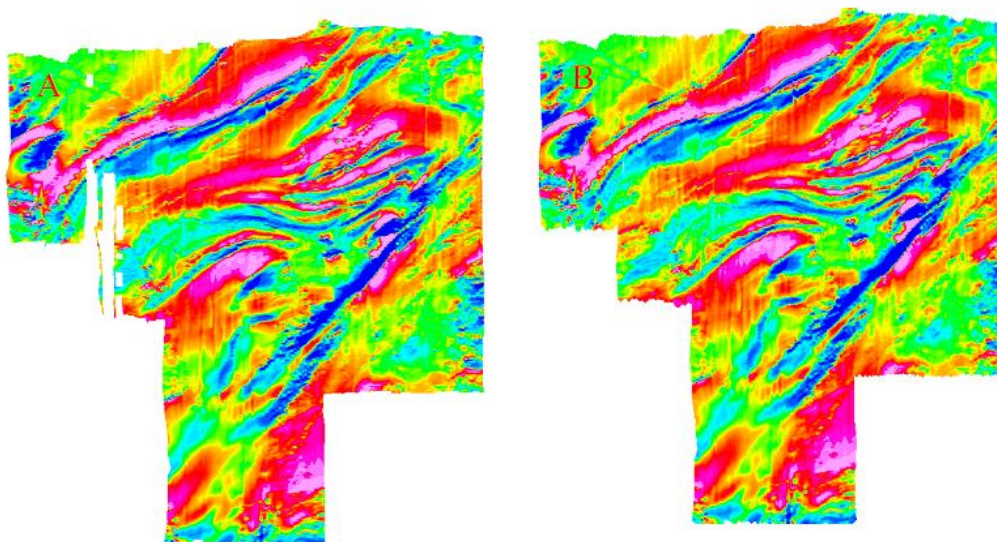


Imagem 20 - A) Método *Splines* Bi-Cúbicos; B) Método Curvatura Mínima.

Para minimizar as tendências na direção das linhas de vôo (N-S) foi aplicado o método do micronivelamento (ver Figura 40) de acordo com a rotina desenvolvida por Blum (1999), com base no que foi proposto por Minty (1991). Visualmente foram notadas algumas diferenças depois do micronivelamento, principalmente na porção NW do trabalho.

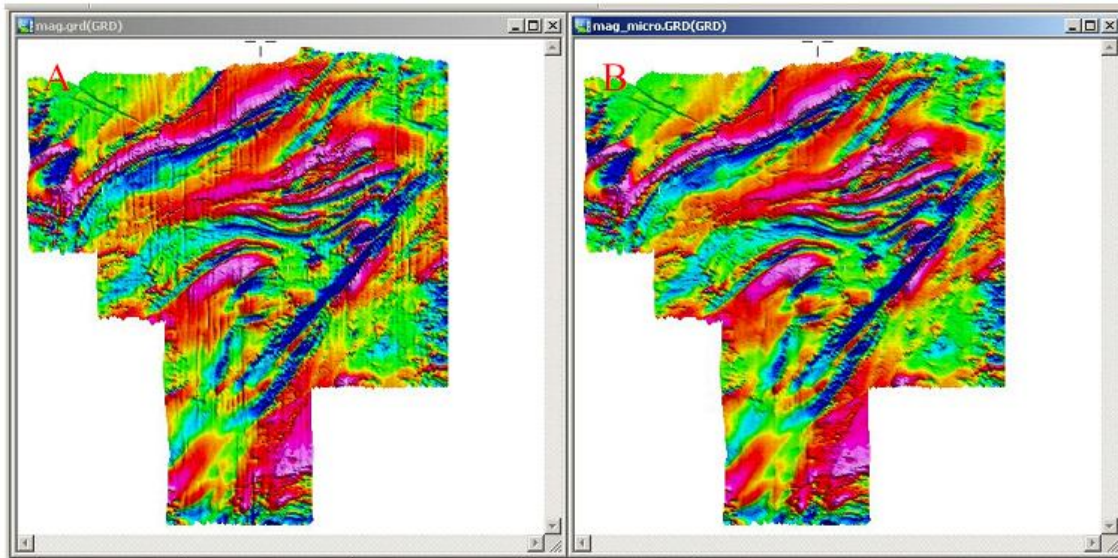


Imagem 21 - A) Antes do micronivelamento; B) depois do micronivelamento

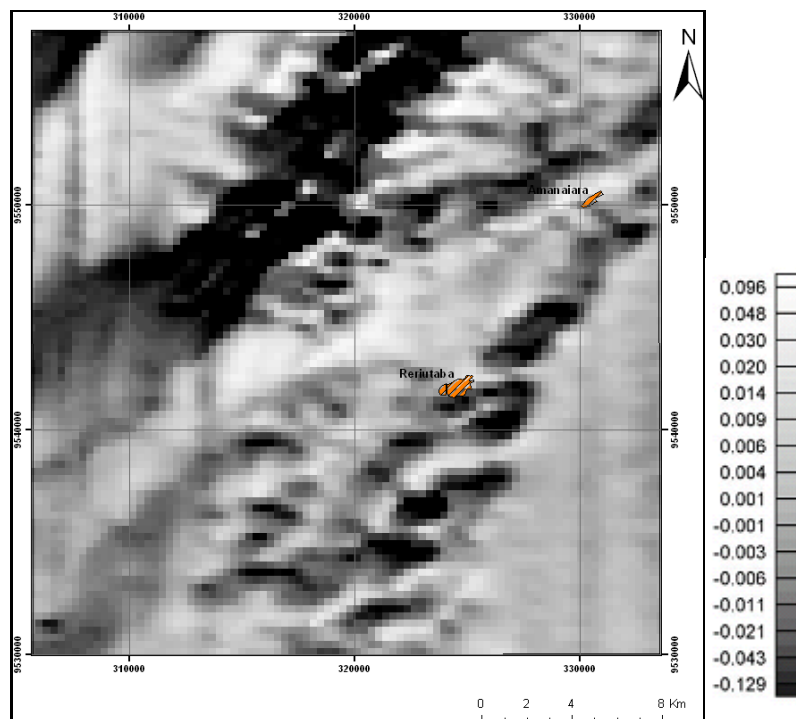
### 15.1.2 Processamento

Nesta etapa foi feita a determinação e análise do espectro de potência e a aplicação de filtros para gerar mapas transformados do campo magnético anômalo. Essas transformações ocorrem no domínio de *Fourier*, através da utilização da transformada rápida de *Fourier*. Os produtos obtidos neste processamento serão mostrados a seguir.

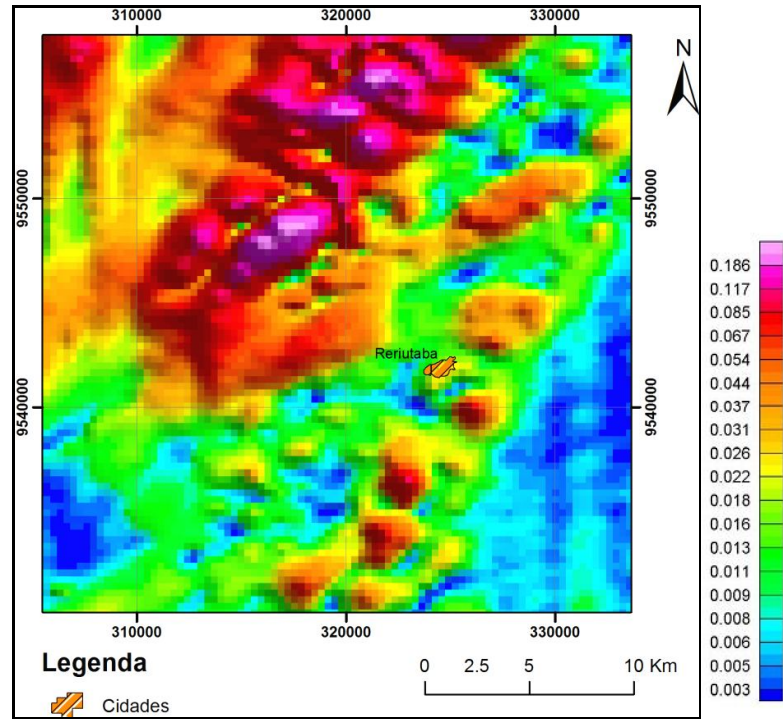
### 15.1.3 Produtos Magnetométricos

Após as correções, os dados magnetométricos foram submetidos às transformações necessárias para a geração de temas interpretativos. Na análise dos dados aeromagnetométricos foram utilizadas técnicas para a determinação de parâmetros geométricos, tais como a localização de limites geológicos e de feições estruturais. Estas técnicas abrangeram o cálculo da derivada vertical (DZ) mostrada na figura 41, por exemplo, bem como o mapa do sinal analítico. Com isso objetivou-se a demarcação de padrões que individualizassem zonas com comportamento distinto e assinaturas que

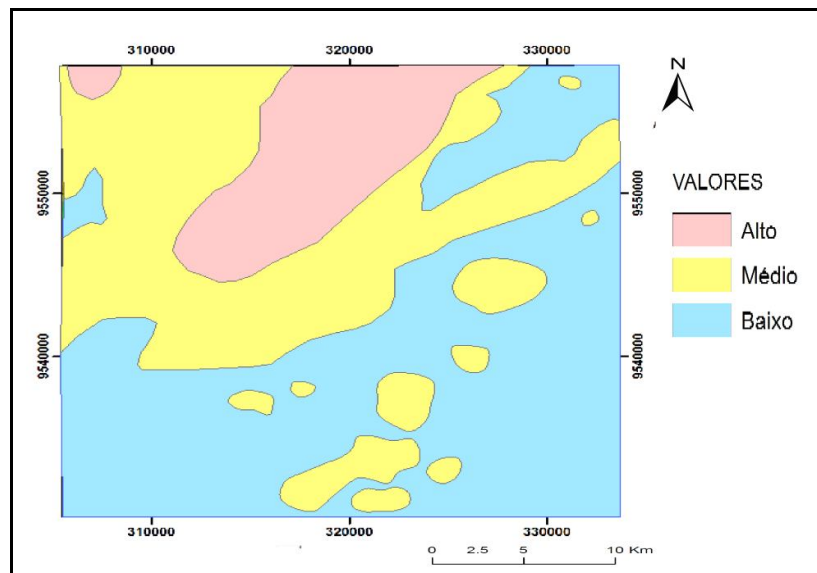
pudessem traduzir feições magnéticas, isolando-se principalmente aquelas com padrão linear. A imagem mostrada na figura 42 é a da Inclinação do Sinal Analítico (ISA), que também resalta as estruturas magnéticas. Lineamentos magnéticos, interpretados com base em todas as imagens magnetométricas geradas, imagens da primeira derivada vertical (DZ), inclinação do sinal analítico (ISA), foram inseridos neste mapa para posterior interpretação litológico-estrutural da área. Foi feito um mapa radiométrico do ISA com os seus valores na figura 43.



Mapa 16- Derivada Vertical (DZ).



Mapa17 - Mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA)



Mapa 18 - Mapa radiométrico do ISA com os valores.

## **16 DADOS AEROGAMAESPECTOMÉTRICOS**

### **16.1 PRODUTOS GAMAESPECTOMÉTRICOS**

Os dados de gamaespectrometria têm sido de grande auxílio nos mapeamentos geológicos permitindo obter informações sobre unidades litoestruturais aflorantes. Estes dados permitem, onde é possível, uma interpretação de forma sistemática e contínua de assinaturas que possibilitem um melhor discernimento sobre a geologia, tendo o cuidado de entender as respostas e assinaturas em função do relevo topográfico (MORAES, 2007).

A interpretação de dados gamaespectrométricos deve ser efetuada na direção da aplicação do conhecimento sobre os processos que controlam a distribuição dos radioelementos em rochas e solos para o realce e processamento de dados. Esse processo de interpretação é apoiado pelo uso de sistemas de informações geográficas com atributos de processamento de imagens, permitindo a integração digital de dados gamaespectrométricos com outros tipos de dados.

As interpretações de unidades gamaespectrométricas contribuem para a delimitação das unidades de mapeamento geológico, assim como de estruturas superficiais, além das anomalias indicarem informações acerca dos processos tectônicos envolvidos.

O grande alinhamento (ver Figura 40) presente na área de estudo auxiliou a traçar a zona de cisalhamento mapeada durante os trabalhos de campo, que de acordo com a literatura e com a assinatura NE-SW correspondente ao Lineamento Sobral Pedro II, que ocorre nas proximidades da região de Amanaiara - Reriutaba. A rosa feita para a área de estudo (ver Figura 41) e os alinhamentos vetorizados evidenciam bem essas duas estruturas. Além disso, de acordo como será visto posteriormente, os alinhamentos de drenagem e de relevo seguem o mesmo padrão, corroborando a existência dessas estruturas.

## 16.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

A análise das respostas gamaespectométricas mostrou que o relevo topográfico (Figura 23) tem influência nas interpretações das respostas em mapas. A topografia mais elevada, morros e platôs (partes rosadas do mapa) normalmente tende a concentrar o elemento tório, enquanto que o potássio tende a se concentrar nas encostas. Já nos vales e nos leitos dos rios tem-se uma contagem radiométrica mais baixa, com concentrações, principalmente de potássio e urânio, devido à mobilidade desses dois elementos.

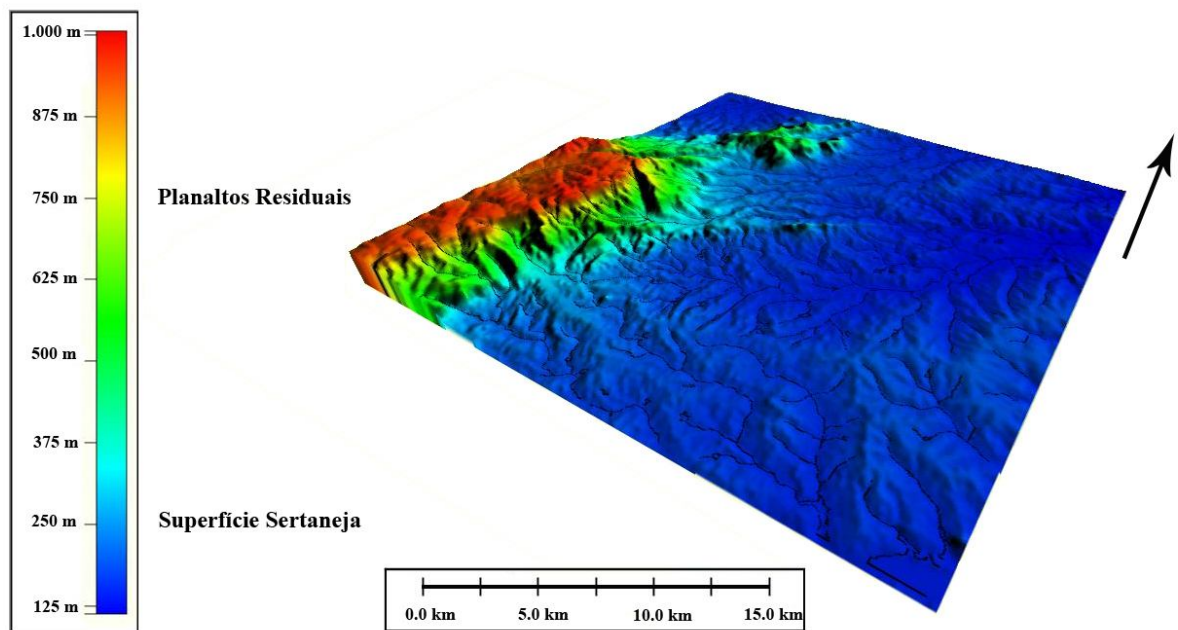


Imagem 22- Bloco Diagrama da Região de Amanaiara- Reriutaba, com as principais unidades geomorfológicas.

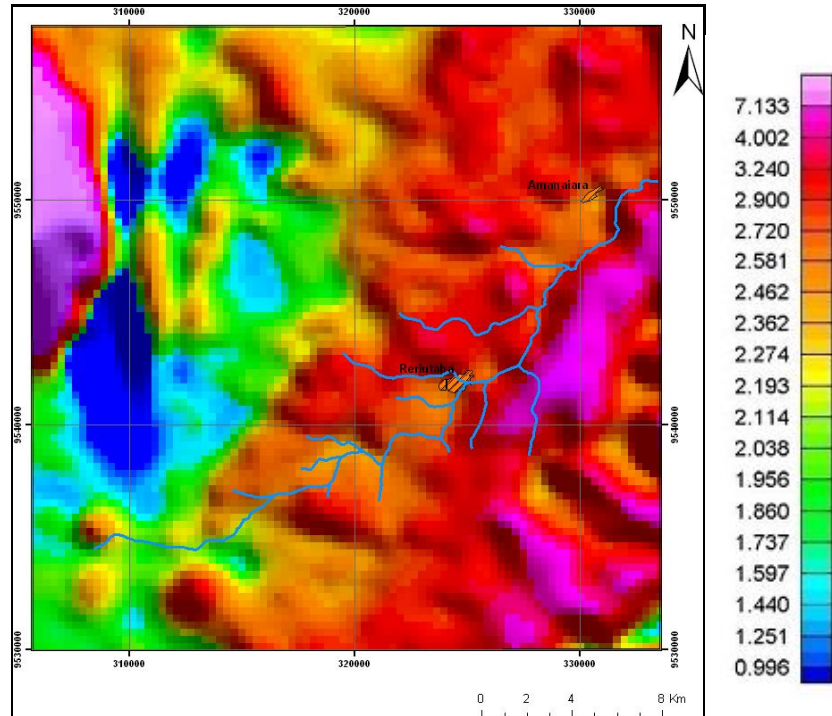
## 17 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS MAPAS RADIOMÉTRICOS DE K, U, Th e CT

### 17.1 POTÁSSIO (K)

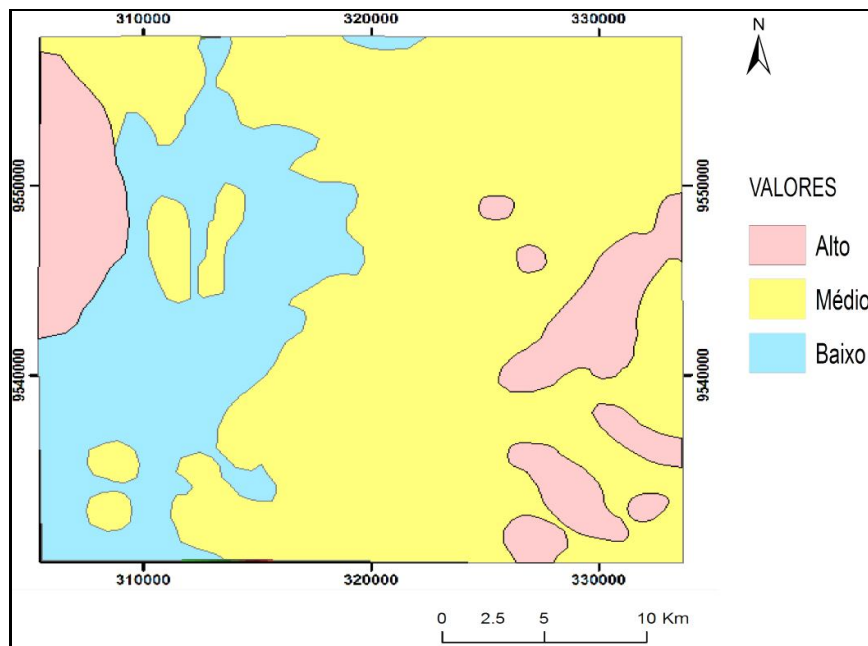
A imagem do canal de potássio (ver Figuras 45 e 46) mostra áreas com concentração anômala do potássio, observadas principalmente nas porções sudeste, onde está posicionado o Granodiorito Anil, e a noroeste da área, onde está inserida a Formação Ipu (Serra da Ibiapaba), que é composta por arenitos e arenitos conglomeráticos. Também há grande concentração na área em que está inserida a Unidade Canindé, que é composta de granada-biotita gnaiss e biotita gnaisses com ou sem granada e anfíbolitos. Os dois pontos de maior concentração de potássio, na maioria das vezes, aparecem nas porções mais elevadas da área de trabalho.

A presença de moderadas a altas concentrações desse elemento em regiões como a drenagem principal, o Riacho São José, mostram que esse elemento pode ter sofrido lixiviação. Sua imagem mostra também lineamentos de direção NE-SW em toda a área, mostrando assim, um padrão.

O potássio é relativamente alto em rochas félsicas, como os granitos, e ausente em rochas máficas, na maioria das vezes. Carvalho (2006). No caso da região do trabalho observa-se uma concentração elevada desse elemento. Os valores mais altos identificados neste canal referem-se a rochas como biotita gnaiss, sienogranitos, anfíbólio-biotita gnaiss migmatizado com porções contendo estruturas de migmatitos como *schlierene* estromatíticas. Valores altos indicam rochas como anfíbólio-biotita gnaiss, biotita gnaiss com porções milonitizadas, além de muscovita-biotita gnaiss. Valores médios indicam metasiengranito que ocorre nas proximidades da Formação Ipu e blocos rolados de arenito conglomerático devido a erosão da Serra da Ibiapaba, que geologicamente corresponde ao Grupo Serra Grande. As rochas deste grupo correspondem aos valores mais baixos e correspondem a arenitos conglomeráticos e silicificados, e quartzo arenito.



Mapa 19 – Mapa radiométrico do canal K.



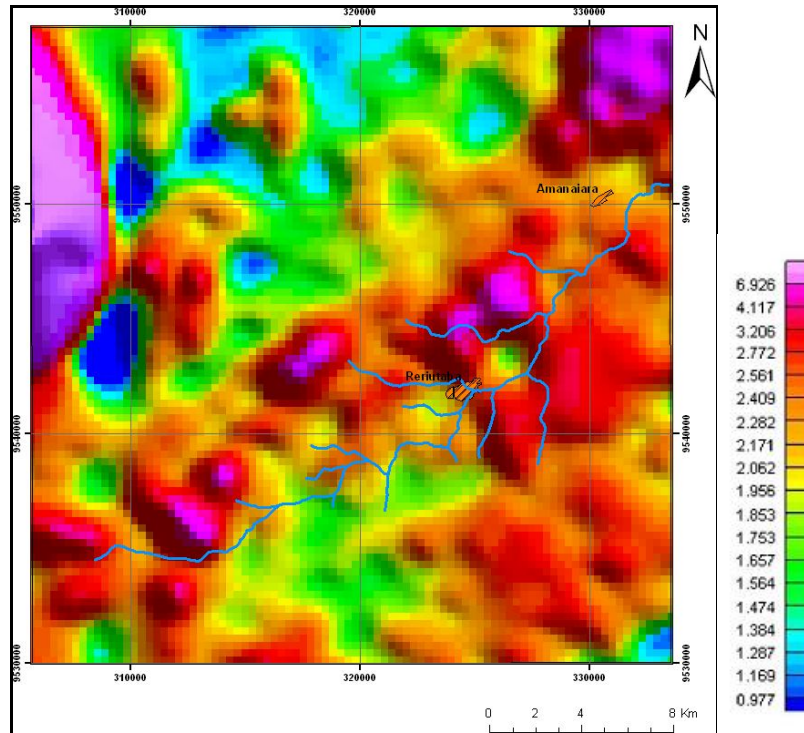
Mapa 20 - Mapa radiométrico do canal K com os valores.

## 17.2 URÂNIO

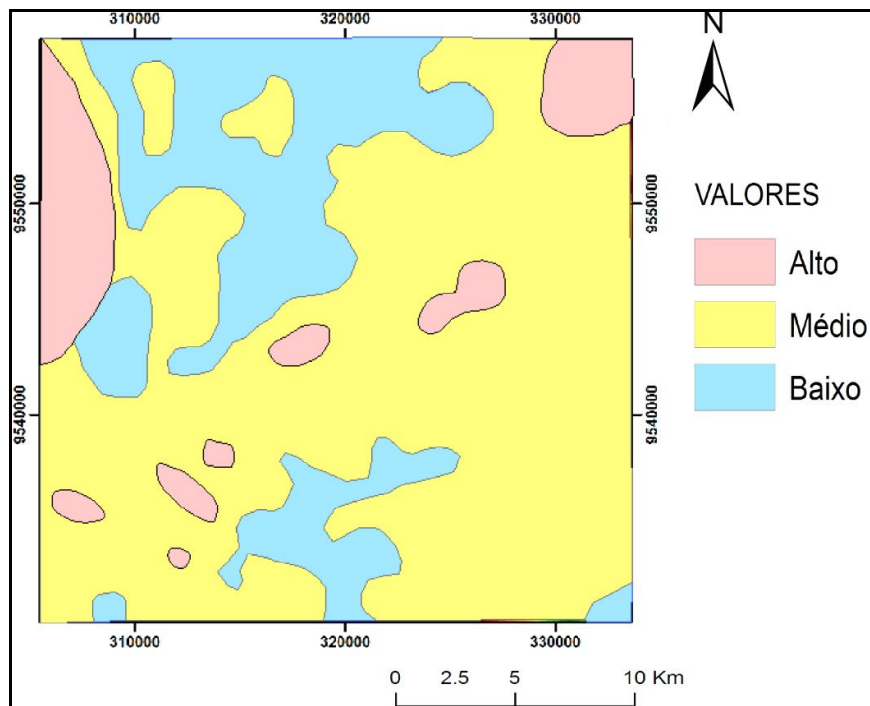
O canal de urânio (ver Figuras 47 e 48) foi aquele que a representou maior dificuldade de obtenção em uma imagem espacial coerente de suas respostas e assinaturas, possivelmente devido à sua alta mobilidade e o baixo teor deste elemento em rochas da crosta terrestre. Esse elemento é observado preferencialmente nos arenitos e arenitos conglomeráticos e em algumas porções ao longo do Riacho São José apresentando estruturas que seguem a direção preferencial NE-SW. Notou-se que no extremo nordeste da área há uma grande concentração de urânio. Nas áreas mais centrais dos platôs, há concentrações moderadas a altas.

Está normalmente presente em rochas com silicatos e óxidos, tais como monazita e zircão, como elementos traço em outros minerais formadores de rocha ou ao longo de bordas de grãos. Carvalho (2006). O urânio é um elemento de alta mobilidade e suas concentrações mais elevadas geralmente se localizam em regiões mais arrasadas, como vales de drenagem e meias encostas, como é o caso da área de estudo. As concentrações mais elevadas estão localizadas ao longo da drenagem principal e no Grupo Serra Grande.

Valores muito altos deste canal referem-se a biotita gnaiss com bandamento bem característico, compostos pela alternância de bandas félsicas, acompanhados de bolsões pegmatóides, na porção nordeste da área de estudo, além de pequenas porções de rochas calcissilicáticas e metasienogranitos. Valores altos correspondem a rochas como biotita gnaiss e porções dioríticas na porção oeste. Já os valores medianos estão relacionados também a biotita gnaiss e anfibólio-biotita gnaiss. Os valores mais baixos deste canal referem-se a rochas calcissilicáticas, uma pequena porção do Granodiorito Anil e grande parte da Unidade Independência composta por granada-biotita gnaiss, lentes de anfibólito, mámore e quartzitos.



Mapa 20– Mapa radiométrico do canal U.



Mapa 21 - Mapa radiométrico do canal U com os valores.

### 17.3 TÓRIO

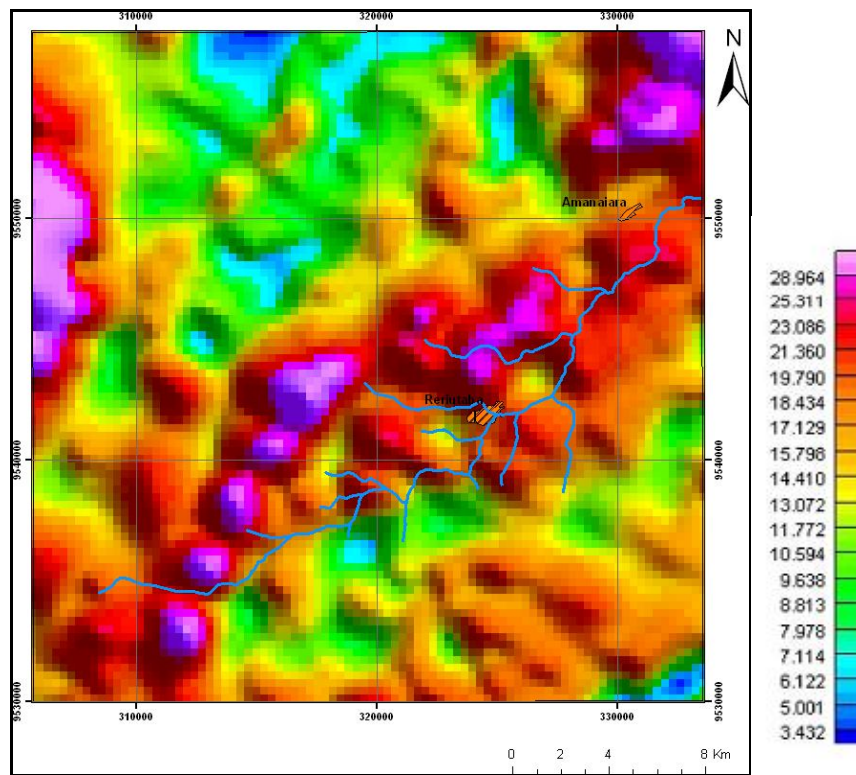
A imagem do canal de tório (ver Figuras 49 e 50) mostra a pouca mobilidade desse elemento, fornecendo assim boas imagens, com boa delimitação das feições geológicas. Através dessa imagem foi possível selecionar zonas ou unidades que apresentam altas concentrações de tório. O uso da imagem de tório comparada ao modelo topográfico da área serviu como instrumento de avaliação do comportamento do radioelemento com relação ao terreno e, por conseguinte, no auxílio da caracterização das diversas unidades gamaespectométricas.

Na porção central há platôs com altas concentrações desse elemento que cortam a área na direção NE-SW, atravessando a unidade Canindé e a área de maior altimetria da Formação Ipu. Porém predomina uma baixa concentração em toda a região. Há grandes lineamentos observados nesta imagem, os quais muitas vezes delimitam as unidades litoestratigráficas separadas no mapeamento de superfície. Eles apresentam orientação preferencial NE-SW.

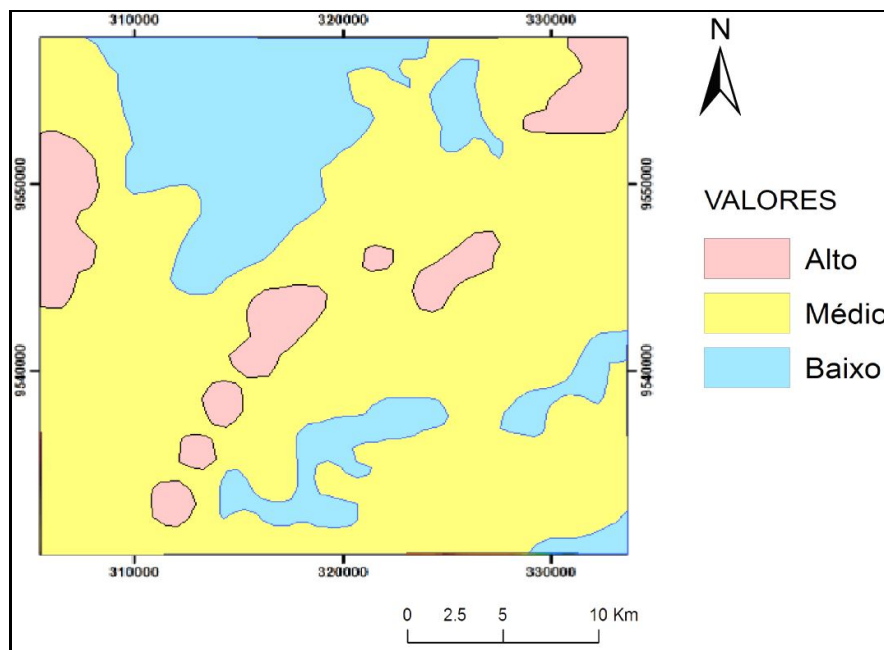
Este é o elemento mais inerte dos três elementos. Quando sua concentração é maior do que as demais, pode caracterizar regiões com maior intemperismo químico, marcando enriquecimento nesse elemento. No caso da região de Amanaiara- Reriutaba, observa-se essa concentração elevada na borda da bacia do Parnaíba (Serra da Ibiapaba), o que nos remete a intensa erosão desta borda, devido a desagregação do Grupo Serra Grande.

Na imagem do canal de tório observa-se uma estruturação que corta a área com direção NE-SW, que é ressaltada devido à assinatura anômala deste elemento. Valores muito altos deste canal referem-se a rochas como arenitos conglomeráticos característicos da Formação Ipu, além de biotita gnaiss, ortognaiss milonitizado e muscovita-biotita gnaiss com pequenos blocos félsicos compostos por álcali feldspato, quartzo e turmalina. Valores altos de tório referem-se a rochas sienograníticas, biotita gnaiss, rochas calcissilicáticas e granodioritos. Valores médios deste canal correspondem a rochas como anfibólio-biotita gnaiss, muscovita gnaiss e biotita gnaiss. Por

fim, os valores mais baixos deste canal referam-se a rochas como biotita gnaiss e anfibólio-biotita gnaiss.



Mapa 22 – Mapa radiométrico do canal Th.

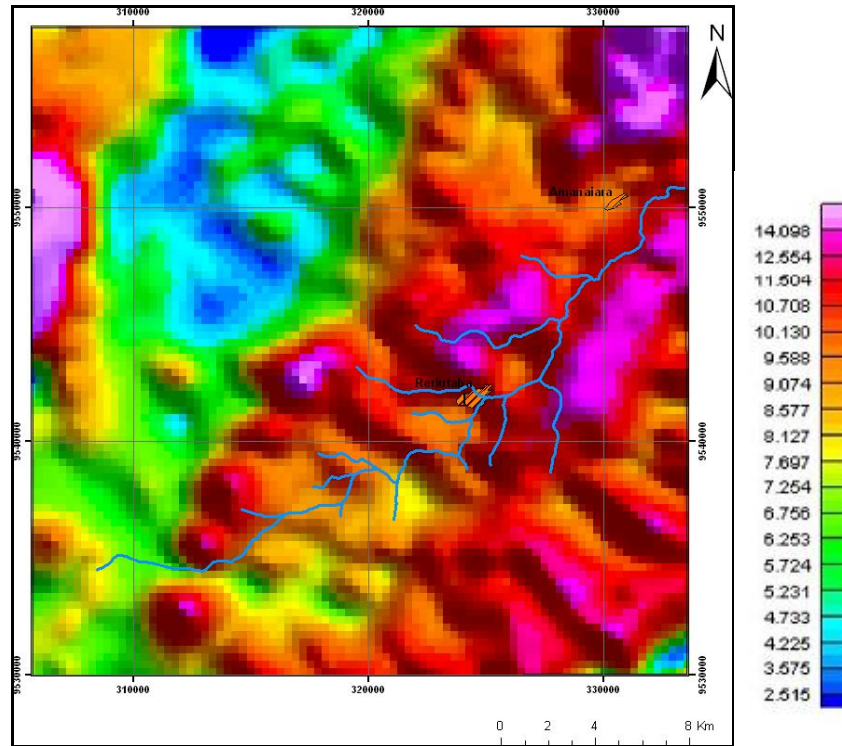


Mapa 23 - Mapa radiométrico do canal Th com os valores.

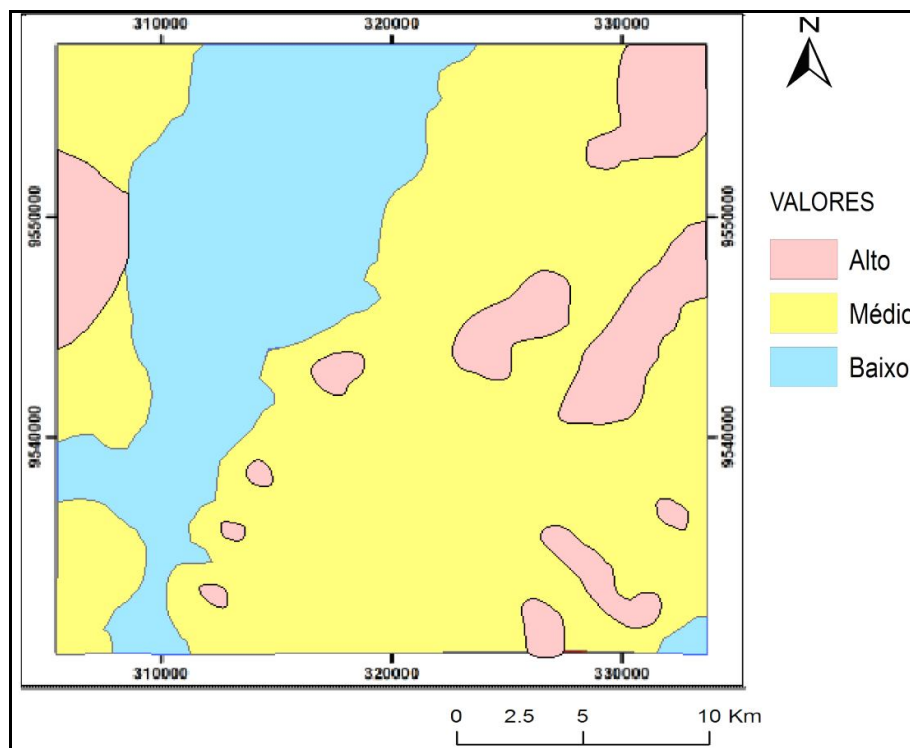
#### 17.4 CONTAGEM TOTAL

A interpretação da imagem da contagem total (ver Figuras 51 e 52) possibilitou uma definição do arcabouço gamaespectrométrico regional para a área. Possibilita fazer uma análise conjunta das discriminações para que se tenha uma idéia do que efetivamente contribui na formação do relevo gamaespectrométrico retratado neste canal. Nela também é possível observar que os grandes lineamentos delimitam várias unidades de mapeamento. Dentre elas se destacam o lineamento do lado leste do mapa de direção NE-SW que secciona a área de trabalho. E parte da formação Ipu novamente.

Valores muito altos deste canal referem-se a rochas como biotita gnaiss e anfibólio-biotita gnaiss muitas vezes migmatizados possuindo granada, apresentando feições migmatíticas como schlieren. Além disso, possui pequenas porções sienograníticas e rochas calcissilicáticas. Valores altos deste canal referem-se a rochas como muscovita-biotita gnaiss, arenito conglomerático do Grupo Serra Grande. Valores médios correspondem a veios pegmatóides, anfibólio gnaiss e anfibólio-biotita gnaiss. Os valores baixos referem-se aos anfibólio-biotita gnaiss, alguns migmatizados e também rochas calcissilicáticas e anfibólitos.

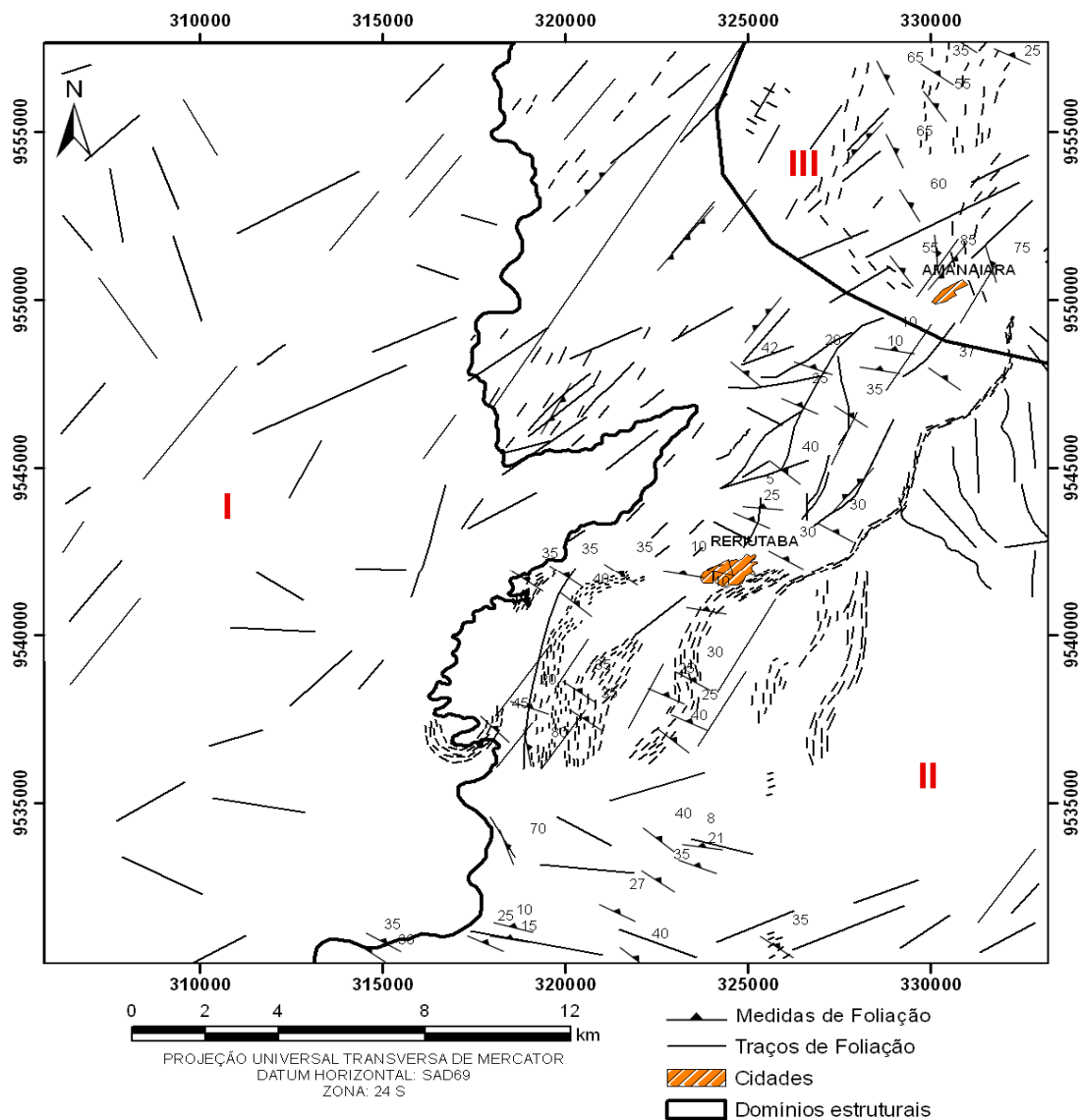


Mapa 24 – Mapa radiométrico do canal CT.



Mapa 25 - Mapa radiométrico do canal CT com os valores.

As imagens aerogeofísicas forneceram informações preliminares sobre o comportamento regional, em superfície e sub-superfície das feições geológicas presentes na região de Amanaiara-Reriutaba. A partir das imagens aeromagnetométricas foi possível identificar que os *trendsmagnéticos* principais orientam-se NE-SW (Figura 53). Com a interpretação dos dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica foi possível elaborar um mapa geológico para a região de Amanaiara – Reriutaba.



Mapa 26 - Mapa de contorno de foliação extraídas de imagens de sensores e de fotoloteamentos extraídos da imagem de Relevo Sombreado e dos relatórios de campo. Com separação de domínios estruturais.

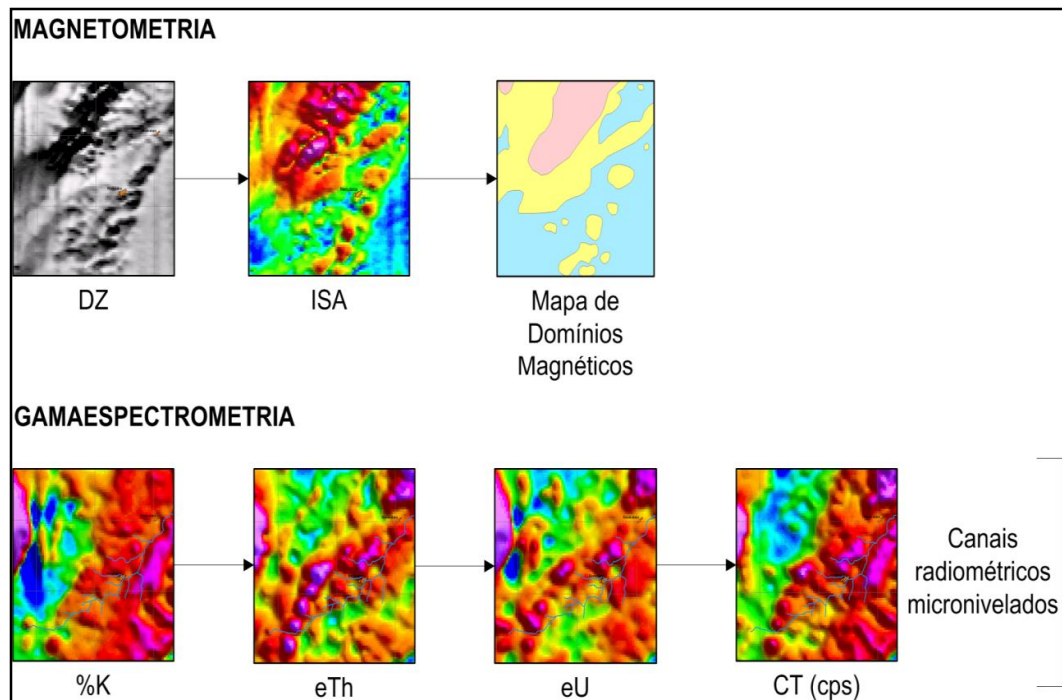
## **18 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES ACERCA DA ANÁLISE DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS**

Os processos de análise e interpretação de dados magnetométricos consistiu na tentativa de reconhecimento de unidades litológicas e estruturais, através da análise das características das anomalias magnéticas. Porém, a caracterização litológica da área de estudo mostrou-se bastante complexa, pois a região de Amanaiara-Reriutaba é composta por rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, que refletiram respostas magnéticas identificadoras do comportamento de alguns grupos de rochas, e não um litotipo ou uma unidade geológica separadamente.

A análise realizada de forma individual e também integrada das imagens dos canais de radioelementos foi feita como objetivo de diferenciar os vários corpos geológicos da região de Amanaiara - Reriutaba. Os canais individuais foram feitos para averiguação de possíveis influências do relevo na distribuição e concentração dos radioelementos. Observa-se que os altos valores de Th e U estão associados à área de platô e correlacionados com coberturas supergênicas. A ocorrência da área com a presença de granito, como feições evidentemente destacadas do relevo, bem como os teores elevados de eTh, eU e K em relação às rochas gnáissicas tornam possível identificar os corpos graníticos nas imagens disponíveis.

Nos mapas aerogamaespectométricos, os corpos graníticos destacam-se pelos elevados teores de K, eTh e eU, separados por porções com valores mais baixos, característicos do embasamento. Em geral, é marcante a coincidência dessas áreas com os tratos de maior altitude, mostrando que as rochas graníticas sustentam as principais serras da região. Os acentuados desníveis de relevo levam, por um lado, a intensa movimentação recente de blocos ou mesmo os processos de pedogênese terem conduzido à mobilização e transporte de K e U. Os mapas aerogamaespectométricos mostram anomalias fortes na região de Amanaiara - Reriutaba. Na porção central o padrão é mais moderado, com teores menores acompanhando uma importante drenagem principal, sugestivos de processos de remoção seletiva de radionuclídios. Na área da formação Ipu (Serra da

Ibiapaba), as respostas são mais homogêneas, com anomalias marcadas para K, eU e eTh. (ver Figura 54)



Fluxograma 02 - Fluxograma dos métodos de investigação adotados a partir de dados magnetométricos e gamaespectrométricos: DZ – primeira derivada vertical do campo magnético anômalo; ISA – intensidade do sinal analítico; CT – canal da contagem total (cps), RGB – composição ternária das imagens de K (%), eTh e eU, respectivamente, nos canais vermelho-verde e azul.

**19 SOBRE O MAPA E NOTAEXPLICATIVA: FOLHA SB-24-V-A-III-2, ESCALA 1:50.000**

Gerou-se um mapa geológico na escala de 1: 50.000 com todos os procedimentos e metodologias descritas anteriormente. De forma que objetivo de se produzir um mapa geológico que reunisse as principais informações geológicas e geomorfológicas organizadas conforme a instrução técnica do Serviço Geológico do Brasil- CPRM com algumas modificações, foi cumprido.

O mapa ainda conta com informações a respeito da localização, tectonoestratigrafia, descrição das unidades, mapas de magnetometria e gamaespectrometria e seção geológica, contemplando os dados alcançados.

## 20 PANORAMA LITO-ESTRATIGRÁFICO DA REGIÃO DE AMANAIARA-RERIUTABA

Na área-alvo do trabalho são reconhecidas as unidades Canindé e Independência (Complexo Ceará), a Faixa Granulítica de Cariré, as formações Pacujá e Massapê (Grupo Jaibaras), o Granodiorito Anil e a Formação Ipu (Grupo Serra Grande) mostrados na figura 58. Estas unidades recobrem uma expressiva área dentro do contexto geológico desta região e apresentam-se com uma variedade considerável de litotipos que serão descritos a seguir.

Coluna Litoestratigráfica							
Éon	Era	Período	Idade (Ma)	Unidade Litoestratigráfica	Simbologia	Descrição	
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	65,5	Cobertura Quaternária	Qa	Detritos rochosos de tamanho variado e sem classificação.	
				Depósitos Coluvionares		Argilas, areias argilosas e quartzosas.	
Proterozóico	Paleozóico	Siluriano	410	Grupo Serra Grande	Ssgi	Arenitos e arenitos conglomeráticos.	
		Ordoviciano	500	Grupo Jaibaras	sojp	Arenitos micáceos, de coloração cinza, granulação muito fina, bem selecionado com estratificação plano-paralela, cruzada tabular angular, marcas onduladas, laminação convoluta.	
			540		sojm	Conglomerado polimítico brechóide, com grãos constituintes do arcabouço com dimensões que variam desde seixos até matacões e com grau de arredondamento variando de anguloso a sub-anguloso.	
	Neoproterozóico	Ediacarano	550	Suíte Intrusiva Meruoca	Np,3i	Granodioritos, monzogranitos e sienogranitos, de cor cinza levemente rosados isotrópicos ou com estrutura de fluxo magmático sutis com enclaves.	
	Paleoproterozóico	Riáciano	2050	Complexo Ceará	Unidade Canindé	Ppcc	Gnaisses milonizados com feições migmatíticas, rochas metabásicas, metagabros, metatramfíticas, metacalcários, anfibólio gnaisses e anfibólitos, calcissilicáticas.
					Unidade Independência	Ppci	Sequência de rochas de paraderivação, composta por granada-sillimanita micaxisto, muscovita-biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, com lentes de anfibólio, mármore e quartzito.
					Faixa Granulítica de Cariré	Ppgc	Enderbitos que apresentam coloração cinza escura com leves tons esbranquiçados, granulação fina a média, e bandamento, definidos por bandas milimétricas de coloração branca, ricas em minerais félsicos (quartzo, feldspato) que intercalam com bandas escuras predominantemente constituídas de minerais máficos (piroxênio e/ou anfibólio).
		2300					

Figura 58 - Coluna litoestratigráfica proposta para a área do trabalho.

## 20.1 COMPLEXO CEARÁ

Nesse complexo são reconhecidas a Unidade Canindé e a Unidade Independência, as quais ocupam áreas expressivas ao centro do mapa.

### 20.1.1 Unidade Canindé

É a unidade litoestratigráfica de maior expressão. Está representada no mapa pela cor azul e ocorre numa faixa de direção NW-SE ocupando territorialmente 20% da área. Compreende um conjunto de gnaisses paraderivados como biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses e sillimanita-biotita gnaisses e; ortognaisses como anfibólio-biotita gnaisses que se encontram por vezes intercalados com lentes de anfibólito.

Possui feições primárias destacadas nos augengnaisses, com cristais de plagioclásio de até 7cm conservando seu hábito prismático e também encontrados sob a forma de porfiroclastos rotacionados.

#### 20.1.1.1 *Biotita gnaisses*

São rochas de tons acinzentados a esbranquiçados, exibem alternância entre camadas máficas e félsicas e possuem granulação grossa. As camadas máficas são formadas por biotita e os níveis félsicos por quartzo, feldspato e muscovita, que são características do bandamento gnáissico (Figura 59-A).

Estruturalmente apresentam-se bandados e dobrados. Sua mineralogia macroscópica é composta por quartzo (30%), feldspato potássico (35%), plagioclásio (18%), biotita (15%), muscovita (2%).

São corpos concordantes que ocorrem na forma de veios de composição quartzo-feldspática e para-anfibólitos, de dimensões centimétricas a métricas. De forma discordante ocorrem bolsões pegmatóides, veios de composição quartzo-feldspática e tectonitos L. Estes bolsões, de granulação grossa, são formados por quartzo, feldspato e cristais prismáticos de turmalina, e caracterizam os gnaisses migmatizados. A presença de quartzo e feldspatos estirados e amendoados na trama destes gnaisses, somados a presença de

tectonitos L, são típicas de gnaisses com feições miloníticas (figura 59-B). As estruturas tectógenas encontradas foram dobras, foliações bem orientadas segundo o *trend* NE-SW e fraturas, com orientação preferencial NE-SW e subordinadamente NW-SE e N-S.

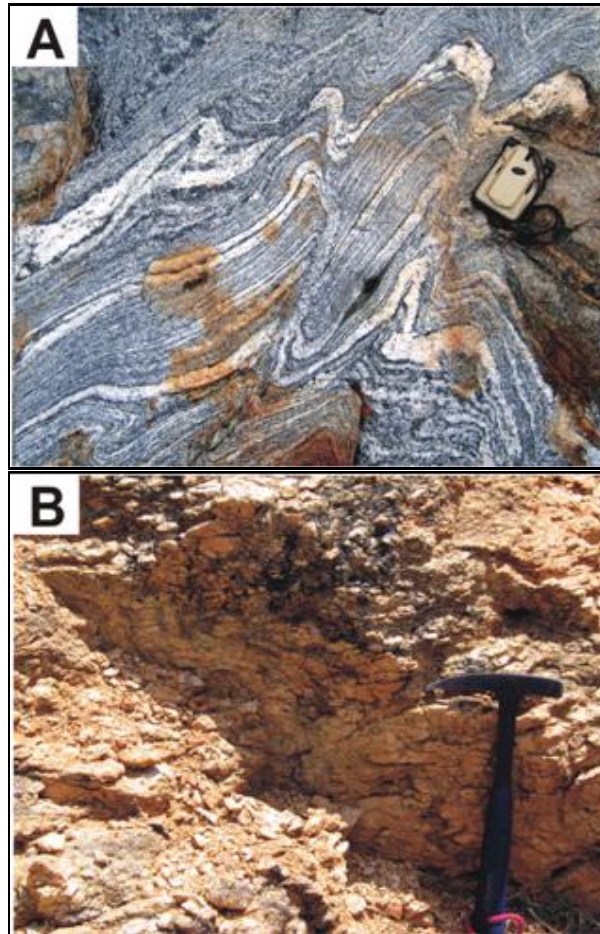


Figura 59 - (A) Gnaiss com bandamento (PR- I – 18)- (B) Gnaiss com foliação milonítica, evidente pelos cristais quartzo-feldpáticos estirados (PR – I – 51).

Neste litotipo são encontrados porfiroclastos de feldspato potássico na forma de ocelos, conferindo uma textura oftalmítica ou *augen*, feições como boudinagem e concentrações espessas de biotita e muscovita com espessuras de aproximadamente 10 cm (Ver Figura 60).



Figura 60 – Veio de quartzo cortando discordantemente os bandamentos dos biotita-gnaisses (afloramento PR-V-14). A seta em vermelho indica o Norte.



Figura 61 – Bandamento composicional bem definido nos biotita gnaisses, composto por porfiroclastos de feldspato potássico na forma de ocelos.

### **20.1.1.2 *Biotita gnaisses***

A rocha apresenta uma coloração cinza esbranquiçada a cinza escura (rocha bastante alterada), granulação grossa e textura bandada. É composta essencialmente por quartzo, feldspato, biotita e subordinadamente muscovita. O bandamento gnáissico é formado por porções félsicas contendo quartzo e feldspato, com cristais de quartzo levemente estirados e porções máficas contendo predominantemente biotita. Sua mineralogia é definida por quartzo (15%), feldspato potássico (15%), plagioclásio (38%), biotita (25%), granada (5%) e muscovita (2%). O bandamento composicional é bem definido pela alternância de bandas máficas e félsicas, além de outras feições estruturais como porfiroclastos de feldspato potássico na forma de lentes, levemente estiradas. Foram encontrados *boudins* e mobilizados ricos em feldspatos, quartzo e turmalina concordantes e discordantes ao bandamento composicional.

### **20.1.1.3 – *Sillimanita-biotita gnaisse***

A rocha apresenta cor cinza de granulação grossa, constituída por quartzo (35%), feldspato potássico (35%), biotita (18%), plagioclásio (10%) e muscovita (2%). Na descrição macroscópica não foi possível a identificação da sillimanita, o que ocorreu somente em escala microscópica. A estrutura principal é o bandamento composicional definido pela alternância de bandas máficas e félsicas com espessuras centimétricas (Ver Figura 61). Localmente, a rocha apresenta *boudins* e bandas de cisalhamento, além de ser truncada por veios pegmatóides concordantes e discordantes a foliação.



Figura 62 – Afloramento PR-IV-69 de um sillimanita-biotita gnaisses com bandamento composicional bem definido.

#### **20.1.1.4 Anfibólio-biotita gnaisses**

Apresenta cor cinza com tons que variam de esbranquiçados, rosados e avermelhados e a granulação é grossa. A mineralogia é definida biotita (10%), quartzo (15%), feldspato potássico (20%), anfibólio (25%) e plagioclásio (30%).

A estrutura marcante é o bandamento composicional dado pela alternância de bandas máficas (anfibólio e biotita) e félsicas (quartzo, feldspato potássico e plagioclásio). Essas bandas apresentam espessuras centimétricas, sendo que localmente as bandas félsicas mostram dobras assimétricas que variam de cerradas a abertas. O litotipo apresenta bolsões pegmatóides irregulares e veios tabulares, os quais são secantes e concordantes a foliação da rocha, mobilizados de composição quartzo-feldspáticas de granulação grossa e textura nebulítica (Figura 62). Foram encontrados porfiroclastos lentiformes de feldspato potássico, os quais se encontram levemente estirados.

A foliação apresenta direção preferencial NE-SW sendo que a medida mais representativa é 25/115° Az. Os anfibólio-biotita gnaisses ocorrem bastante migmatizados e localmente estão intercalados com lentes espessas de anfibolitos com aproximadamente 50 cm de espessura.



Figura 63 – Anfibólio-biotita gnaisses (PR-IV-29) mostrando textura nebulítica.

#### **20.1.1.5 Anfibolito**

Texturalmente exibem um bandamento incipiente (Figura 63), onde as intercalações máficas são constituídas predominantemente por anfibólio e os níveis félsicos contêm quartzo e plagioclásio. Os anfibolitos também são cortados concordante e discordantemente por veios quartzo-feldspáticos. São rochas que estão em menor proporção dentro da área, restringindo a porções centimétricas inseridas nos gnaisses. Estão de maneira concordante ou discordante em relação à foliação milonítica da rocha (Figura 64). São associadas aos bolsões quartzo-feldspáticos pegmatóides. Apresentam coloração cinza escura esverdeada e granulação média e são compostas por plagioclásio, anfibólio e biotita.



Figura 64 – Bandamento incipiente em anfibolito cinza-escuro (PR-V-049).



Figura 65 – Detalhe da porção anfibolítica concordante com o plano da foliação milonítica do sillimanita gnaiss (EAM-III-38).

### 20.1.2 Unidade independência

Compreende de forma essencial uma seqüência de rochas de paraderivação cujos litotipos principais são descritos a seguir. Está representado no mapa pela cor verde-oliva e ocorre em 8% da área.

### **20.1.2.1 Granada-sillimanita micaxisto**

Tem coloração cinza-esverdeado, granulação média, composta por muscovita (50%), quartzo (25%), biotita (15%), clorita (5%), granada (5%) e sillimanita (1%). Os cristais de granada apresentam feições sin-tectônicas, como inclusões espiraladas de biotita em seu interior, sendo elas bem desenvolvidas atingindo tamanho centimétrico. O aspecto da rocha é sedoso, com muscovitas centimétricas (2cm) em algumas porções localizadas.

### **20.1.2.2 Muscovita-biotita gnaiss**

Rocha de coloração rosa esbranquiçada, granulação média, composta por k-feldspato (40%), plagioclásio (30%), quartzo (25%) e biotita (5%). A foliação é moderada com feições miloníticas penetrativas. Possui veios de quartzo de espessura em torno de 1cm e direção 240° Az e bolsões de quartzo e muscovita discordantes à foliação. Ocorrem lentes de anfibolito concordantes a foliação, de coloração cinza esverdeado, granulação média, maciço, composta por biotita, anfibólio e plagioclásio. A rocha apresenta feições de migmatização assinalada pela presença de mobilizados de quartzo ou quartzo-feldspático (dimensões centimétricas e decimétricas), usualmente concordantes a foliação. Foi registrada a ocorrência de mobilizados enriquecidos em k-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita discordante da foliação.

### **20.1.2.3 Granada-biotita gnaiss**

Apresenta coloração cinza escura, granulação média apresentando amêndoas feldspáticas e bandamento composicional, assim como, veios de quartzo de 0,5m de espessura sendo concordantes com a foliação.

### **20.1.2.3 Granada-muscovita-biotita gnaisse**

Rocha de coloração branco rosado, com granulação média, composta por plagioclásio, quartzo, biotita, moscovita e granada. Possui uma foliação penetrativa e um leve bandamento composicional que diferencia minerais micáceos. Ocorem amêndoas centimétricas de plagioclásio. Veios compostos por quartzo e muscovita de granulação grossa com espessuras centimétricas são discordantes à foliação.

### **20.1.2.4 Rochas Calcissilicáticas**

Trata-se de rochas de coloração cinza, com granulação média, apresentando bandamento incipiente. Microscopicamente apresenta textura granular orientada.

### **20.1.2.5 Mármore**

Os mármore geralmente ocorrem em lentes intercalados em pacotes de gnaisses, de tamanho métrico a decamétrico. Em geral os mármore apresentam coloração cinza esbranquiçada, granulação grossa (Figura 65) e textura granoblástica, maciços, com a ocorrência de mica (flogopita) associada ao carbonato.

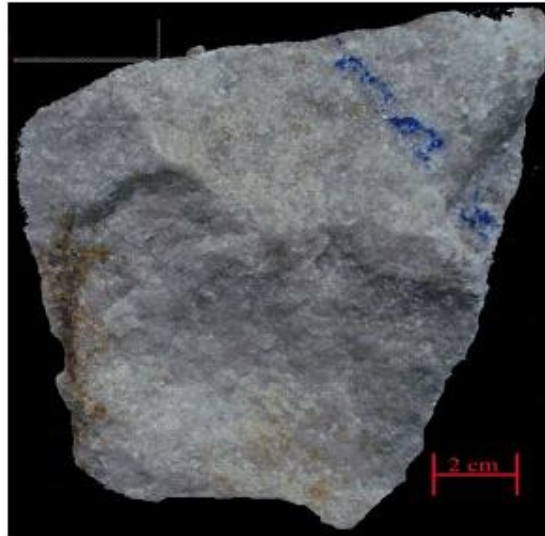


Figura 66 - Amostra de mão de mármore da Unidade Independência.

#### 20.1.2.6 - *Anfibolitos*

Os anfibolitos são afaníticos, com coloração verde escura. Microscopicamente são constituídos por anfibólio (hornblenda) (60%) e plagioclásio (15%), como essenciais e quartzo, biotita, muscovita, clorita, titanita, opacos, apatita e epidoto (25%). Possui textura nematoblástica

#### 20.2 GRANODIORITO ANIL

O Granodiorito Anil, representado pela cor vermelha, está presente em cerca de 15% da área, na porção sudeste da área. Segundo Gorayeb e Soares (1995), este granodiorito (Figura 66) pertence à suíte intrusiva Meruoca, levando em conta as características petrográficas, bem como idade de  $587 \pm 19$  pelo método Rb-Sr, (GORAYEB; LAFON, 1995). Trata-se de um batólito de forma elíptica, alongado 35 km na direção NNE-SSW. É encaixado numa sequência de alto grau metamórfico, que abrange paragnaisse aluminosos com sillimanita, rochas calcissilicáticas, granulitos e granitóides estratóides, além de milonitos.

Mostra contato brusco com gnaisses, e abundantes enclaves máficos, preferencialmente nas bordas do corpo, além de injeção local de veios graníticos. Dados petrográficos, de acordo com Gorayeb *et al.* (1988), mostram que este corpo intrusivo tem composição predominantemente granodiorítica, com variações para monzogranitos, álcali-feldspato granitos, quartzo sienitos e frações pegmatíticas. Este corpo intrusivo é subconcordante à estruturação regional, e esta intrusão pode estar relacionada com a granitogênese Brasileira.

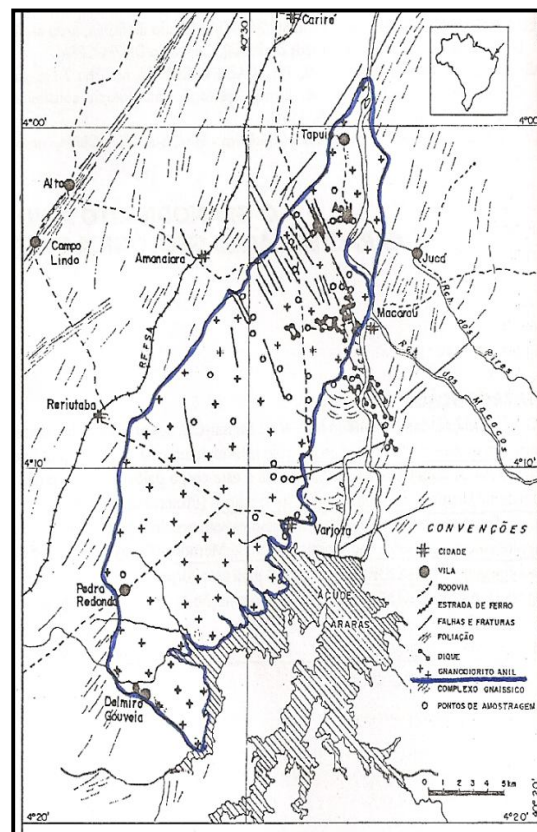


Figura 67 - Mapa Geológico do Granodiorito Anil. Modificado de Gorayeb *et al.* (1994)

Macroscopicamente apresenta cor branca com tons acinzentados e granulação grossa. A rocha é fanerítica, holocristalina e leucocrática. A mineralogia é definida por quartzo (33%), plagioclásio (45%), feldspato potássico (7%) e biotita (15%). Localmente esta rocha apresenta bolsões ricos em material quartzo-feldspático, enclaves máficos (Figura 67) de granulação média e estruturas sutis de fluxo magmático nas bordas do corpo (Figura 68).



Figura 68 - Granodiorito Anil (PR-IV-57) mostrando enclave de composição diorítica.



Figura 69 - Granodiorito Anil (PR-IV-30) mostrando foliação incipiente.

No centro deste corpo intrusivo a rocha é maciça, com tons esbranquiçados, granulação grossa, equigranulares visível pela presença de cristais bem desenvolvidos de quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita como mineral acessório. Exibe concentrados máficos sob forma ocelar e orientação N-S (Figura 69 e 70).



Figura 70 – Detalhe à esquerda mostrando textura granular do maciço com cristais bem desenvolvidos. E à direita nota-se a presença de concentrações máficas sob forma ocelar neste corpo.



Figura 71 - Figura mostrando claramente injeções de veios graníticos (PR-I-44).

### 20.3 GRUPO JAIBARAS

Cartograficamente o Grupo Jaibaras, localiza-se no extremo noroeste da área. É representado pela cor marrom e ocupa cerca de **8%** do mapa. Compreende uma seqüência de metaconglomerados polimíticos intercalados a metarenitos e metasiltitos. Segundo Gorayeb *et al*, (1988) o Grupo Jaibaras é subdividido em duas formações: a Formação Massapê e Pacujá. Estas unidades ocupam blocos delimitados por falhas.

O ambiente deposicional do Grupo Jaibaras compreende um sistema de cones aluviais, com canais e planícies fluviais associados e sua deposição se deu em um clima seco. A sua área de ocorrência está intimamente relacionado com o lineamento Transbrasiliano em um contexto de bacia “*pull-apart*”, Gorayeb *et al*. (1988). Várias propostas têm sido apresentadas para o empilhamento estratigráfico das unidades que compõe o chamado Gráben Jaibaras, como os encontrados em Hackspacher *et al* (1988); Gorayeb *et al* (1988), Torquato e Nogueira Neto (1996); Oliveira (1999).

#### 20.3.1 Formação Massapê

Está representada pela cor marrom no mapa e corresponde a 9% do mesmo. É a unidade basal do Grupo Jaibaras, sendo composta por conglomerado polimítico brechóide, com grãos constituintes do arcabouço com dimensões que variam desde seixos até matacões e com grau de arredondamento variando de anguloso a sub-anguloso. Os clastos são de composição variada, representados por fragmentos de gnaisses, microgranitos, xisto, calcissilicáticas, além de seixos de quartzo e feldspato, os quais estão imersos de forma aleatória numa matriz arenosa, de granulação fina, de composição arcossiana e coloração vermelho carne. Por vezes esse litotipo intercala-se com rochas vulcânicas (Figuras 71 e 72). A relação matriz-arcabouço é variável, pois ora apresenta caráter matriz-suportado, definindo um arcabouço aberto, e ora os seixos e matacões do arcabouço se tocam com mais regularidade, definindo contatos pontuais e configurando um arcabouço

mais fechado. As rochas desta formação apresentam-se sob a forma de blocos métricos a decamétricos e afloramentos *in situ*.



Figura 72 - Fácies conglomerado polimítico brechóide da Formação Massapé.



Figura 73 - Aspecto geral de campo de conglomerado da Formação Massapé.

### 20.3.2 Formação Pacujá

Recobre 10% da área do mapa, no qual aparece com a coloração verde-escuro. Apresenta contato gradacional com a Formação Massapê, concordante deposicional com a Suíte Parapuí (derrames e *sills*), discordante erosivo com a Formação Aprazível e tectônico com o Grupo Martinópolis e o Complexo Ceará. Essa unidade aflora naturalmente sob as formas de lajedos, bancos contínuos, e blocos (Figura 73 e 74). Na área foram encontradas as seguintes fácies: a) fácies arenito com estratificação plano-paralela: constituída por arenitos micáceos, de coloração cinza, granulação muito fina a fina, bem selecionado, coesos e de composição arcossiana, com estratificação plano-paralela de espessura milimétrica a centimétrica; b) fácies arenito maciço: constituída por arenito maciço, coeso, de coloração creme a cinza esverdeado, micáceo, de granulação fina, bem selecionado de composição arcossiana; c) fácies com laminação cruzada tabular angular: composta por arenito coeso de coloração cinza, granulação fina, bem selecionado, composição arcossiana, com estratificação cruzada tabular angular de espessuras milimétricas; c) fácies siltito com laminação plano-paralela; constituída por siltito de coloração marrom avermelhada, micáceo, com laminação plano-paralela, milimétrica a centimétrica; d) fácies arenito com estratificação cruzada: constituída por arenito marrom avermelhado, granulação fina a média, composição quartzo-feldapática, com estratificação cruzada tangencial e acanalada, de médio porte, definidas principalmente pelos minerais pesados, marcas onduladas e laminação convoluta.



Figura 74 - Afloramento em forma de blocos típicos dos arenitos da Formação Pacujá.



Figura 75 – Arenito fino da Formação Pacujá exibindo acamamento e laminações plano-paralela com mergulho baixo para SE.

#### 20.4 FAIXA GRANULÍTICA

Os granulitos de Cariré estão representados no mapa pela cor cinza e ocorrem em pequena porção da região central superior do mapa, sendo

distribuídos territorialmente em 10% da área. No seu esquema evolutivo, compreende o funcionamento de um sistema de movimentação em rampa lateral com componente direcional predominante dextral (Abreu et al. 1988).

Dentro do cinturão, através do alçamento diferencial de fatias de rochas ou conjunto delas, se justapõem cartograficamente transformadas em condições metamorfo-deformacionais distintas, através de passagens relativamente bruscas.

Dentro do Complexo Ceará ocorre uma faixa metamórfica de alto grau marcado pela presença de rochas granulíticas, localizado na porção sudoeste da folha, a norte da cidade de Cariré. Suas melhores exposições estão ao longo da rodovia federal e ocorrem sob forma de pequenos lajedos e cortes de estrada.

Trata-se de enderbitos que apresentam coloração cinza escura com leves tons esbranquiçados, granulação fina, a média e bandamento, definidos por bandas milimétricas de coloração branca, ricas em minerais félsicos (quartzo, feldspato) que intercalam com as bandas escuras dominantes constituídas de minerais máficos (piroxênio e/ou anfibólio). Mobilizados quartzo feldspáticos de dimensões centimétricas a métricas com concentração de granada de tamanho centimétrico, encontram-se intercalados nas rochas sob a forma de ocelos até centimétricos.

Em muitas partes, as rochas apresentam paragênese em desequilíbrio, com transformações parciais ou totais de alguns minerais ou mesmo na neoformação de minerais a partir de outros.

## 20.5 GRUPO SERRA GRANDE

O registro Paleozóico está ligado à presença do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba. Cartograficamente o Grupo Serra Grande, começa a noroeste da área e segue até sudoeste, compondo a borda leste da Bacia do Parnaíba.

É representado pela cor rosa e ocupa cerca de 20% da área. Caputo (1984) dividiu o grupo em três formações: Formação Ipu, Formação Tianguá e Formação Jaicós.

Na área-alvo, a ocorrência de rochas sedimentares é observada na porção oeste da área, com os corpos rochosos formando a Serra da Ibiapaba. Esses corpos constituem a porção basal do Grupo Serra Grande. O termo Serra Grande foi proposto por Small (1914), para englobar arenitos, conglomerados e calcários da borda oriental da Bacia. Este conceito foi revisto por Kegel (1953), que redefiniu a Formação Serra Grande, excluindo os calcários, que ocorrem de forma dobrada no embasamento, dispostos de forma sotoposta e marcando uma discordância angular com os arenitos. Carozzi *et al* em estudos posteriores elevou a formação Serra Grande a categoria de grupo, dividindo-o em Formação Mirador (base), Formação Tianguá (meio) e Formação Jaicós (topo). Esta divisão foi modificada por Caputo e Lima (1984), que propuseram de acordo com o Código de Nomenclatura Estratigráfico o termo Formação Ipu em substituição ao termo Formação Mirador, porém mantiveram as Formações Tianguá e Jaicós.

A Formação Ipu (única formação encontrada na área) é constituída principalmente de arenitos hialinos, médios a grossos (sendo considerada de origem fluvial anastomosada), conglomerados, arenitos conglomeráticos e diamictitos. Os arenitos conglomeráticos desse membro são creme amarelados, às vezes maciços ou com estratificação cruzada.

A Formação Tianguá contém folhelhos cinza, siltito e arenito muito micáceo de ambiente nerítico. A Formação Jaicós inclui arenitos médios a grossos e eventuais pelitos, sendo proposto um sistema fluvial entrelaçado, para sua deposição. De um modo bem genérico, o ambiente desta Formação Jaicós é glacial baseado em tilitos na sua porção inferior, marinho, nerítico a intranerítico e, continental na sua porção superior.

Da superseqüência Siluriana da Bacia do Parnaíba (Vaz et al., 2007) foi reconhecida apenas uma litofácies clástica repousa discordantemente sobre as rochas proterozóicas. É a litofácies composta por arenitos grossos, de tons avermelhados, friável, com grãos angulosos, bem selecionados, com granulometria areia grossa e no geral bastante intemperizados (Figura 75). Apresentam fraturas com planos NE-SW.

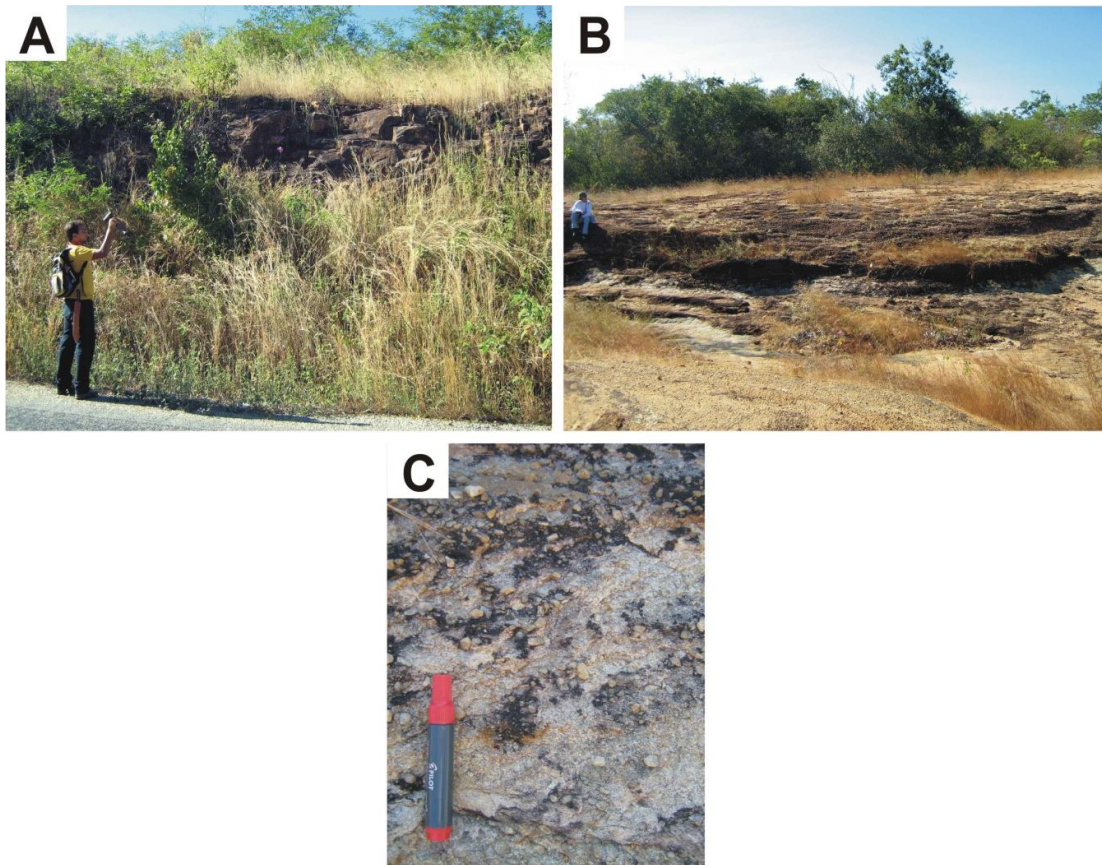


Figura 76 - Afloramentos dos arenitos do Grupo Serra Grande, que formam a Serra da Ibiapaba, (A) e (B) mostram exposições em cortes de estrada ao longo da CE-129, nas proximidades do Km 07, sentido Guaraciaba do Norte – Reriutaba. (C) foto de detalhe que ressalta o arenito grosso moderadamente selecionado. (PR-I-64 / PR-I-65)

- **Litoarenitos conglomeráticos**

Foram englobados arenitos maciços e conglomeráticos de coloração cinza e matriz arenosa (Figura 76 A). Na porção basal predomina conglomerado polimítico, mal selecionado, subanguloso/subarredondado. Os cascalhos são compostos predominantemente por fragmentos de gnaisses, arenitos finos e até rochas máficas (Figura 76 B). O litoarenito conglomerático polimítico está intercalado com arenito de granulação média a grossa.

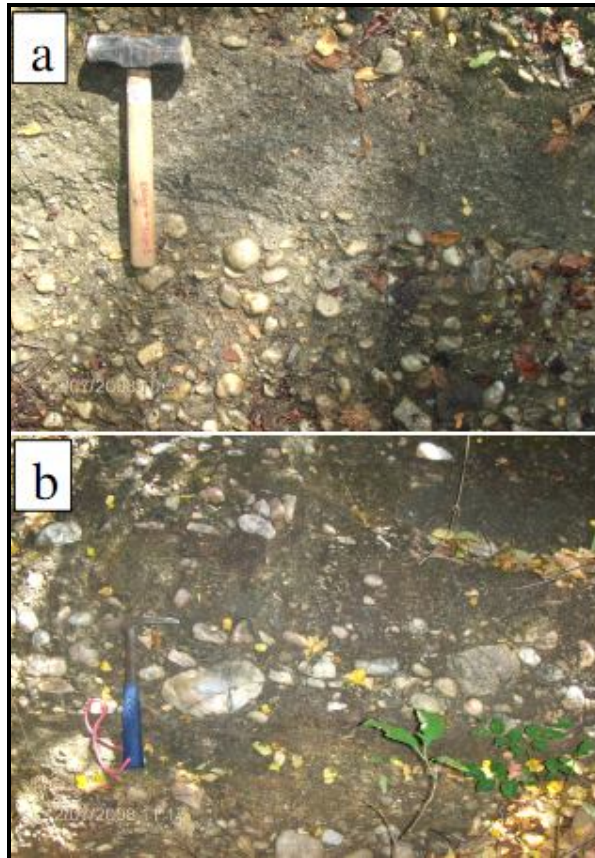


Figura 77 - Aspecto macroscópico e microscópico dos litoarenitos conglomeráticos. (a) Contato entre o nível conglomerático (PR-V-57B) e o arenito maciço (PR-V-57C); (b) Porção basal do litoarenito conglomerático polimítico exibindo cascalhos de composição variada.

## 20.6 DEPÓSITOS ALUVIAIS E COLÚVIOS

Os depósitos aluviais e colúvios estão representados por sedimentos bastante alterados e desgastados, de coloração secundária (por ação intempérica) amarelo-avermelhada resultantes da desagregação e alteração de rochas pré-existentes.

Os depósitos aluvionares estão representados pela cor amarela, em torno de 4% do mapa. A acumulação envolve fluxos gravitacionais associados com o sistema de drenagem e são constituídos por argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzo feldspáticas, conglomeráticas ou não, bem como cascalhos e argilas orgânicas.

Os depósitos coluvionares, oriundos dos arenitos do Grupo Serra Grande (nesta área representada pela Serra da Ibiapaba), estão representados pela cor amarela e abrangem cerca de 4% da área, estes foram produzidos pela ação do intemperismo nos arenitos pertencentes a Serra da Ibiapaba contendo fragmentos de arenitos conglomeráticos polimíticos (Figura 77).

De uma forma mais específica, os depósitos coluvionares formam coberturas constituídas por blocos, matacões, seixos e material detrítico de granulometria menor, que ocorrem nas encostas dos morros, morrotes e colinas, principalmente do granodiorito Anil e da Serra da Ibiapaba (Figura 78).



Figura 78 - Aspecto macroscópico dos depósitos coluvionares gerados por arenitos conglomeráticos polimíticos.



Figura 79 - Depósitos coluvionares oriundos dos processos erosivos atuantes na Serra da Ibiapaba.

## 21 MAGMATISMO

Os eventos magmáticos que afetaram a Província Borborema e, conseqüentemente a Folha SB-24-V-A-III- 2 datam do final do Arqueano até o início do Fanerozóico. O fim do Arqueano e início do Proterozóico é caracterizado pela formação de suítes TTG por processos de subducção e fusão crustal, com a acreção de vários arcos de ilhas e protocontinentes. No Mesoproterozóico e Neoproterozóico, com os eventos orogenéticos Cariris Velhos e Brasileiro, o magmatismo é predominantemente granítico. O evento Cariris Velhos Zona Transversal e domínio Sul é ausente no domínio Ceará Central (BRITO NEVES et al. , 2000).

O plutonismo granítico brasileiro recebe grande destaque dentro da Folha SB-24-V-A-III- 2.

Santos e Medeiros (1997) agruparam as diversas associações petrogenéticas e tipos de plútons em supersuítes, considerando as afinidades geoquímicas e a colocação desses corpos ao longo da colagem do Brasileiro. Foram identificadas três supersuítes, a saber:

### 21.1 SUÍTES DE FONTES HÍBRIDAS E CRUSTAIS

Correspondem aos principais eventos de plutonismo afetando a província desde as fases contracionais iniciais até movimentos finais de extrusão. Inclui os cálcio alcalinos de alto potássio, os cálcio alcalinos peraluminosos, os trondjemíticos (composição granodiorítica e tonalítica) e os peralcalinos com aegirina-augita e anfibólios azuis.

### 21.2 SUÍTES DERIVADAS DO MANTO- ENRIQUECIDO

Abrangem rochas sin-cinemáticas às grandes zonas transcorrentes, aparentemente marcando descontinuidades crustais profundas (Lineamento de Patos e Pernambuco). Estão inclusas as suítes cálcio alcalinas de alto potássio

(com rochas monzoníticas e monzograníticas) e suíte shoshonítica ultrapotássica.

### 21.3 SUÍTES HÍBRIDAS, INTRUSIVAS GRANÍTICAS MENORES E ENXAMES DE DIQUES RELACIONADOS COM AS FASES PÓS- COLISIONAIS

As principais áreas de ocorrência estão no noroeste do Ceará. Nessa suíte está incluída a Suíte Granítica Meruoca, onde se encontra o granodiorito Anil. Este compreende a granitogênese mais jovem da área. É formado por rochas de composição granodiorítica a monzogranítica (Gorayeb *et al.*). A relação com as encaixantes indicam contatos bruscos, com freqüentes enclaves máficos e injeções de veios graníticos. Ao longo das margens resfriadas, a granulação é mais fina, havendo também a ocorrência local de texturas porfiríticas juntamente com estruturas sutis de fluxo magmático. Do ponto de vista petrográfico, as características são de granitos isotrópicos, de granulação grossa e com freqüente textura granular hipidiomórfica. Estes aspectos revelam claramente a natureza intrusiva deste plúton e permitem correlacioná-lo com os granitos Eo-paleozóicos pós-tectônicos da Suíte Meruoca.

Em contrapartida, a idade Rb-Sr de  $587 \pm 19$  M.a. apresentada por Gorayeb *et al.* (*op.cit.*) para a idade de cristalização do Granodiorito Anil não satisfaz esta correlação, pois Neves (2003) apresenta idades U-Pb de  $532 \pm 6$  M.a. para o Granito Mucambo e  $507 \pm 36$  M.a. para o Batólito Meruoca, mostrando uma diferença de cerca de 50 M.a. entre a idade de cristalização do plúton Anil e a suíte Meruoca. Dessa forma, esta correlação torna-se problemática. Por outro lado, Gorayeb *et al.* (*op.cit.*) justifica esta diferença ao afirmar que a idade obtida para o Granodiorito Anil representa a idade mais antiga até agora obtida para os corpos da granitogênese Eo-paleozóica, reafirmando a existência de um importante magmatismo granítico no limite Proterozóico/Paleozóico que ocorreu e deixou registros no oeste da Província Borborema.

Embora os dados geocronológicos disponibilizados na literatura sejam contrastantes com as interpretações sugeridas por Gorayeb *et al.* (*op.cit.*), as informações levantadas em campo juntamente com a descrição petrográfica, ambas realizadas neste trabalho, mostram que o Granodiorito Anil é um corpo isento de metamorfismo ou deformação dúctil e apresenta características predominantemente ígneas, o que remete as interpretações no sentido de correlacionar este corpo com os granitos Eo-paleozóicos pós-tectônicos de caráter anorogênico da Suíte Meruoca.

De acordo com Gorayeb *et al.*(1993) a evolução desta última geração de granitos está relacionada a um regime distensivo de caráter regional, implantado durante o Eo-paleozóico, nos quais os mais importantes registros seriam marcados por extensas zonas de cisalhamento, as quais funcionaram como grandes eixos térmicos ao longo ou próximo das quais ascenderam e se posicionaram os plútons graníticos. A hipótese genética para esses granitos pós-tectônicos sugere a existência de uma vinculação direta entre este magmatismo e o sistema transtrativo Ubajara-Jaibaras. A geração dessas massas pode estar vinculada à existência de elevadas taxas de estiramento litosférico, que ocasionou a ascensão total das isothermas. O reflexo disto teria sido a geração de fusões em níveis mais profundos da crosta e de colapsos da supracrosta, implantando-se o sistema de grábens. Em uma etapa posterior, haveria a permeação e ascensão dos líquidos magmáticos ao longo das principais zonas transcorrentes até os níveis epizonais.

## 20 METAMORFISMO

Segundo Abreu e Gorayeb (1992), o noroeste do Ceará é formado por rochas gnáissico-migmatíticas geradas sob condições que variam desde a fácies xisto verde alto até granulito, relacionadas ao evento Transamazônico, em regime transpressivo. A Unidade Canindé na área é formada essencialmente por para-gnaisses e para-anfibolitos em diferentes graus de migmatização e milonitização. As paragêneses encontradas nestes litotipos indicam processos metamórficos de caráter regional sob condições de fácies anfibolito médio a alto.

Os **biotita gnaisses** possuem textura predominantemente granolepidoblástica e estrutura de bandamento gnáissico, de dimensões centimétricas a milimétricas, sendo que o bandamento de composição máfica é composto pela associação biotita, anfibólio, epídoto, opacos, que definem a foliação e o aspecto planar, e o bandamentofélsico composto por plagioclásio, quartzo e K-feldspato. Texturas reliquiares de processos ígneos também ocorrem, como intercrescimento mimerquítico e micropertitas.

A paragênese principal é:  $Pl+Bt+Qz+Kf\pm Hb\pm Ep\pm Gr$ . A presença desta associação permite enquadrá-lo na fácies anfibolito.

Os **granada-biotita gnaisses** apresentam-se com texturas lepidoblástica e granoblástica alongada, com presença de poiquiloblastos de granada, assim como estrutura de bandamento milimétrico a centimétrico. As bandas de composição máfica são compostas predominantemente por biotitas vermelhas orientadas que definem o aspecto planar, mais a granada e muscovita. Os gnaisses da área comumente encontram-se migmatizados. De acordo com Yardley (*op.cit.*), migmatitos, embora bem mais desenvolvidos em protólitos pelíticos, também se formam em metassedimentos silicosos, em rochas básicas (entenda-se “rochas básicas” anfibolitos oriundos de metamorfismo de sedimentos margosos formados pela mistura de material argiloso e carbonático (Orville, 1969 *in* Yardley, *op.cit.*)) e podem ainda ser produto de injeção de material externo (migmatitos de injeção) ou de segregação metamórfica a partir de rochas hospedeiras (migmatitos *in situ*) (Winkler, *op.cit.*). Além disso, migmatitos são diretamente relacionados com metamorfismo de alto grau.

A tabela 3 indica as paragêneses das amostras estudadas assim como seus respectivos protólitos.

A **sillimanita-biotita gnaiss** tem como paragênese muscovita + biotita + sillimanita + quartzo + plagioclásio + ortoclásio. Mudanças mineralógicas ocorreram ao longo do metamorfismo, como o aparecimento de minerais índices como muscovita, biotita, granada e sillimanita.

A primeira paragênese é marcada pela presença apenas do mineral biotita devido ao corte da amostra, pois em escala de afloramento também apresenta muscovita e granada. As biotitas são vermelhas, o que indica um elevado teor de Ti, compatíveis com condições de altas temperaturas.

A segunda paragênese apresenta a ocorrência de muscovita, biotita e granada, o que indica o aumento do grau metamórfico, levando a pressões mais moderadas.

A terceira paragênese indica que o metamorfismo atuante sobre as rochas foi de alta temperatura em protólitos pelíticos, com a formação de rochas parcialmente migmatizadas. Segundo Yardley (1994), o aparecimento da sillimanita deve-se a desestabilização da muscovita e da biotita sob pressões moderadas, segundo a reação abaixo:



Essa reação envolve uma fase fluida aquosa que se dissolve na fusão produzida, porém pode haver fusões adicionais também resultantes da destruição de minerais hidratados, que liberarão água, a qual será novamente dissolvida em novas fusões, esse processo é expresso pela seguinte reação:



As paragêneses acima também mostram que houve mudança na composição do plagioclásio de oligoclásio para andesina, que está intimamente relacionado com o aumento do grau metamórfico; o oligoclásio marca o início da fácies anfíbolito, e andesina, segundo Winkler (1977) caracteriza um metamorfismo de médio grau.

Tabela 03 - lista das amostras laminadas, com suas respectivas paragêneses e protólitos dos litotipos. Abreviações: Bt: biotita; Ms: muscovita; Qz: quartzo; Pl: plagioclásio; Gr: granada; Hb: hornblenda; Kf: feldspato potássico; Ep: epidoto; Opc: opacos; Tit: titanita. Fonte: Acervo da disciplina estágio de Reriutaba, equipe V.

Amostra	Litotipo	Paragênese	Protólito	Fácies
PR-V-48C	anfíbólito	Hb + Opc ± Tit ± Epd	plutônico máfico	anfíbólito
PR-V-46A	biotita gnaiss	Pl+Bt±Hb	tonalito	anfíbólito
PR-V-51B	biotita gnaiss ultramilonito	Pl-Qz-Bt	tonalito	Anfíbólito alto
PR-V-47	biotita gnaiss	Pl+Kf+Bt±Gr	monzogranito	anfíbólito
PR-V-32A	biotita gnaiss	Bt+Pl+Kf±Ep	monzogranito	anfíbólito
PR-V-14	biotita gnaiss	Kf+Bt+Pl±Hb	monzogranito	anfíbólito
PR-V-08A	granada biotita гнаiss	Pl+Bt+Gr+Ms	Psamo-pelítico	Anfíbólito alto, zona da granada

Como todos os litotipos se encontram na fácies anfíbólito, o intervalo de condições P-T é em torno de 450 a 700 °C e 3 a 10 kbar e profundidades que chegam a mais de 30 km (Figura 79).

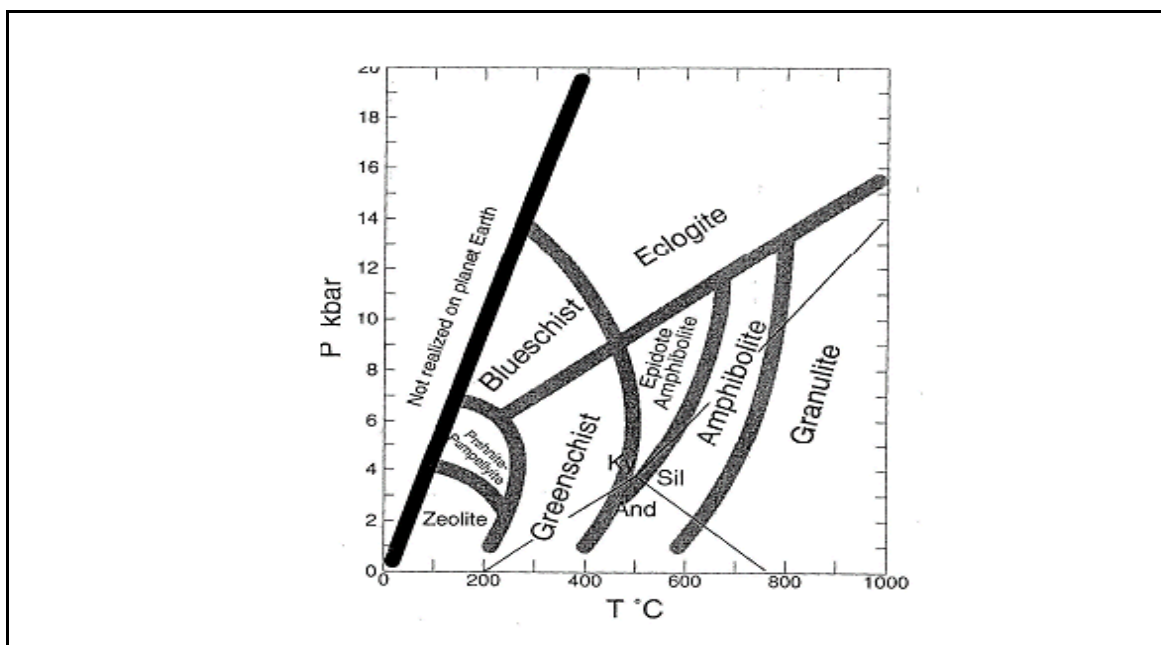


Diagrama 03 - Diagrama Pressão-Temperatura mostrando os campos das várias fácies metamórficas. Fonte: Yardley 2004

Em geral os gnaisses da área apresentam texturas poiquiloblástica, granoblástica e lepidoblástica. Em termos de microestruturas, os quartzos apresentaram contatos que variavam de retilíneos, suturados, côncavos-convexos até atingirem localmente contatos poligonais, evidenciando os processos inicialmente rúpteis devido à compactação e posteriormente processos dúcteis e aumento da temperatura e pressão, que resultou em recristalização. Além disso, minerais como a biotita e muscovita apresentaram-se alongadas e encurvadas formando *kinkbands*. A ocorrência da sillimanita indica que o metamorfismo atingiu alta temperatura e média pressão, de acordo com Miyashiro (1973).

O Complexo Ceará também é formado por gnaisses de ortoderivação como anfibólio-biotita gnaisses, além de anfibólitos. Essas rochas encontram-se associadas aos litotiposparaderivados e refletem um metamorfismo de médio grau a alto grau, evidenciado pela ocorrência de uma assembléia mineral caracterizada pela presença do plagioclásio do tipo andesina, que mostra que o grau metamórfico aumentou. Além disso, a formação de hornblenda nesses litotipos também confirma temperaturas mais elevadas, segundo Yardley (1994).

A fácies anfibólito descrita encontra-se a temperaturas de 550° a 700°C e sob pressões de 2 a 12 Kbar.

As paragêneses destes litotipos são discriminadas abaixo:

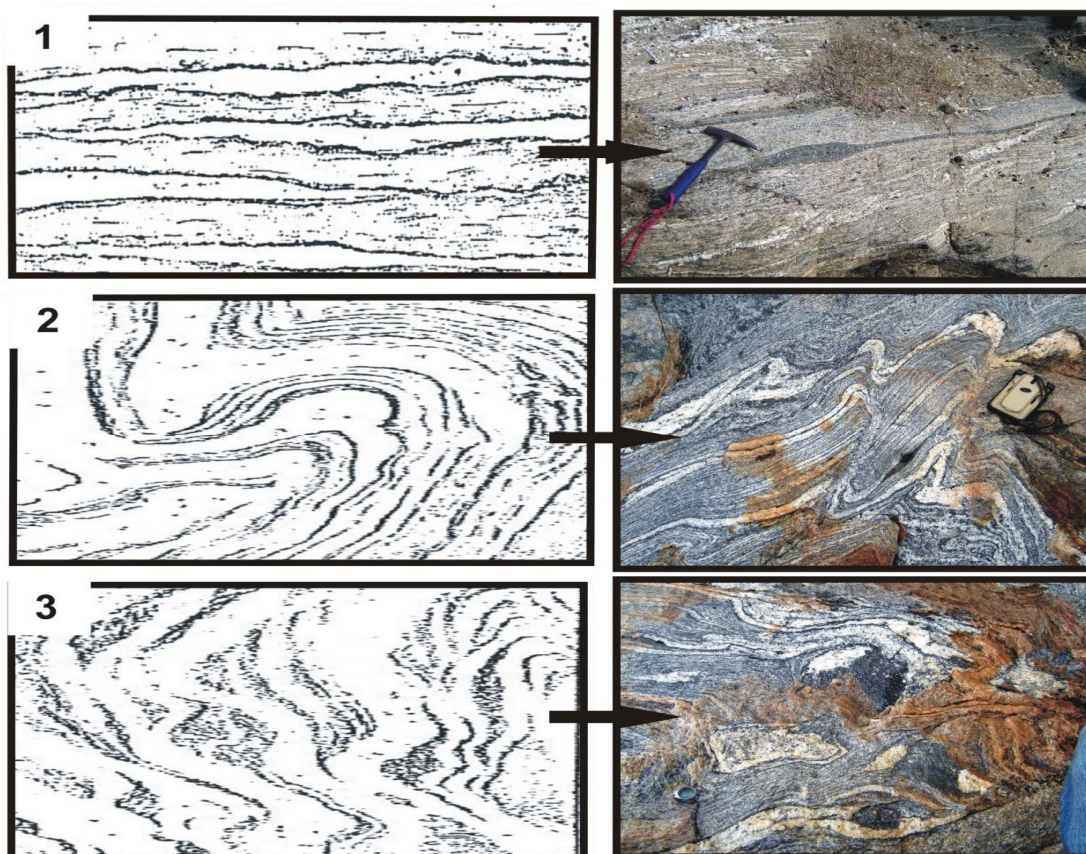
**Anfibólito:** hornblenda + cummingtonita + plagioclásio andesina (An<sub>33</sub>)

**Anfibólio - biotita gnaisses:** hornblenda + biotita + quartzo + microlina + plagioclásio andesina (An<sub>30</sub>).

**Anfibólio gnaisse** exhibe principalmente textura nematoblástica, e subordinadamente textura granoblásticaalongada. Possui aproximadamente 40 % de hornblenda e 40 % de plagioclásio, em amostra de mão é visualizada somente uma discreta orientação de minerais félsicos, mas microscopicamente pode-se notar que a orientação é definida pelos anfibólitos. A associação mineral em equilíbrio é formada por: Hb + Opc ± Tit ± Epd. A presença desta associação permite enquadrá-lo na fácies anfibólito.

Quando oriundos de metassedimentos, migmatitos podem se formar a partir da anatexia "*in situ*" de gnaisses em temperaturas em torno de 650°C, que resulta em um líquido de composição granítica a trondhjemíticas que se segrega em

forma de lentes ou veios, como ocorre nas porções migmatizadas encontradas nesses migmatitos de composição granítica (Yardley, *op.cit.*). Quanto maior for a quantidade de fluidos existentes no protólito, menor será a temperatura necessária para fundir a rocha (Winkler, *op.cit.*). De acordo com as principais estruturas desenvolvidas nos migmatitos segundo Mehnert (1968) in Yardley (*op.cit.*), os migmatitos (ou gnaisses migmatizados) encontrados na área podem ser classificados como migmatitos bandados heterogêneos, com estruturas estromáticas (*stromatic* ou *layered*), dobradas (*folded*) e *schlieren* (ver Figura 78).



Fotografia 21 - Estrutura dos migmatitos identificados na área: 1) estromática ou acamadada, caracterizada por conter diferentes quantidades de leucossomasob forma de segregações em gnaisses produzidos *in situ* (PR-I-31) 2) dobrada e 3) *schlieren*, caracterizada por segregações ricas em biotitas. As origens de formas variadas podem ser entendidas quando um complexo de rochas submetido a metamorfismo e posteriormente a anatexia é formado por diferentes sedimentos (PR-I-18). Modificado de Mehnert (1968) in Winkler (*op.cit.*).

Feições de milonitização macroscópicas também são frequentemente encontrados nos gnaisses e, portanto, caracterizam a atuação de metamorfismo local de caráter dinâmico. De acordo com a terminologia proposta por Wise *et al.*

(1984) in Yardley (*op.cit*), os gnaisses situados próximo à borda do corpo intrusivo Anil, em zonas de falhas de direção N-S, são classificados como ortomilonitos e protomilonitos (Figura 79).

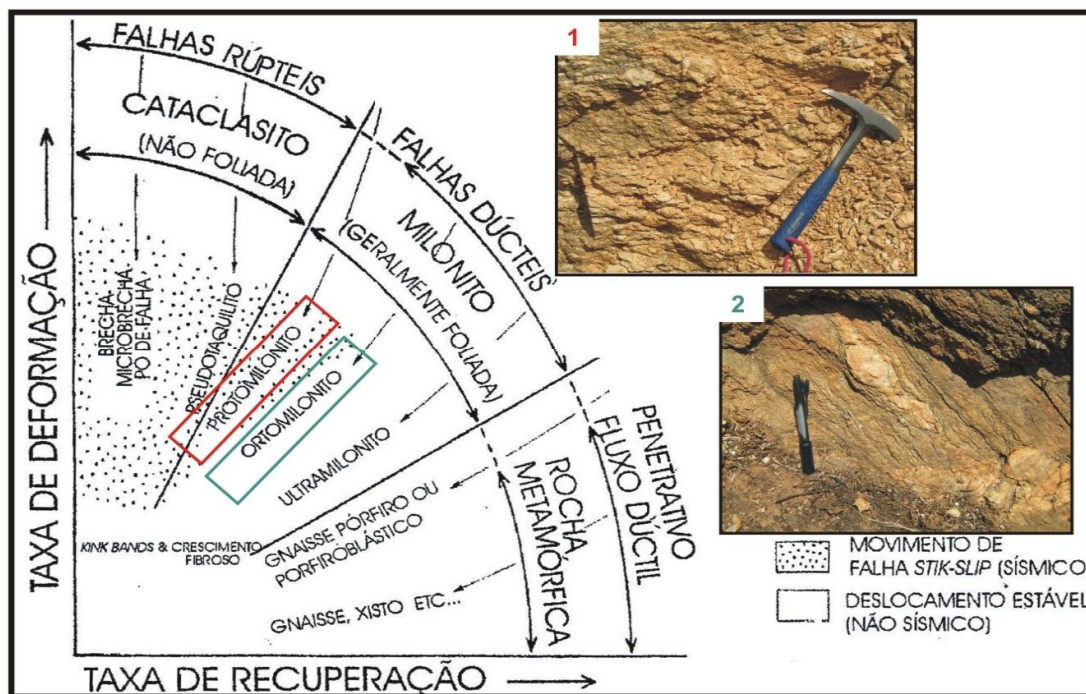


Imagem 24 - Terminologia para rochas associadas a falhas. Na área foram encontrados dois tipos de milonitos: 1) protomilonitos e 2) ortomilonitos. Modificado de Wise *et. al.* (1984).

Metamorfismo e deformação são dois processos que atuam fortemente nas rochas do Complexo Ceará que afloram na área de Amanaiara-Reriutaba. De acordo com todas as informações abordadas, a faixa de temperatura no qual se deu o metamorfismo desta unidade dentro da fácies anfíbolito situa-se entre 590° a 700°C, a pressões em torno de 4 a 7 Kbar, a profundidades em torno de 10 a 29 Km. Devido à presença dos aluminossilicatos (estauroлита, cianita e sillimanita) pode-se afirmar um protólito de natureza sedimentar. Contudo, a presença de minerais cálcicos, o piroxênio (diopsídio), a andesina, e o anfíbólio (hornblenda) requer uma fonte de cálcio, que pode vir de sedimentos impuros com sedimentação carbonática (metassedimentos silicosos = sedimentos margosos) ou de derivação ígnea, todavia, a primeira fonte é considerada a mais provável.

A associação para definir a fácies granulito foi estabelecida sobre os enderbitos da Faixa Granulítica, resumidas na paragênese: hiperstênio +

plagioclásio andesina (An38) + anfibólio + quartzo + biotita, que segundo Winkler (1976) indicam condições de  $P_{H_2O} \ll P_{total}$  sendo a última pressão de média a alta e temperatura entre 650° a 850°C.

Ao longo de algumas porções da borda do granodiorito Anil é observada em escala, principalmente escala local, condições metamórficas da fácies hornblenda-hornfels, nas áreas referentes às aureolas de contato metamórficas dos plútons graníticos intrusivos. Algumas associações paragenéticas como: quartzo-cordierita-andaluzita-biotita-plagioclásio-muscovita indicam essas transformações metamórficas. Onde a presença de minerais como cordierita e andaluzita indicam condições de baixa pressões (<4 Kb) e temperaturas entre 500°C e 650°C.

No Grupo Jaibaras atuaram condições metamórficas de grau incipiente até xisto verde baixo, indicando leve subsidência das unidades litológicas. A preservação de estruturas sedimentares primárias, recristalização de alguns minerais e desenvolvimento de uma incipiente foliação nas rochas denotam indícios de metamorfismo em condições de baixo grau.

Portanto, o metamorfismo na área do estudo reflete um processo regional e progressivo, com alto grau geotérmico, nas quais as pressões e as temperaturas são variáveis e formaram comportamentos diferentes em cada litotipo em termos de deformação.

## 21 AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO

Apresentam intercalações de conglomerados com areia grossa. São bem cimentados, porém possuem porções friáveis, contém seixos e matacões de quartzo e de vários tipos de rocha como quartzitos, com até 20 cm de diâmetro. Os arenitos que ocorrem nesta área apresentam características semelhantes aos arenitos descritos acima, por isso foram classificados como pertencentes à Formação Ipú e, logo, apresentam idade de sedimentação idêntica a esta. Estudos realizados na Formação Ipú indicam idade de deposição Siluriana, apesar da ausência de fósseis, devido estar sobreposta concordantemente pela Formação Tianguá.

Essa deposição foi retrabalhada por cursos de transbordamento periglacial, sendo que os seixos e cascalhos seriam transportados por fluxos de alta energia, quando blocos erráticos que se deslocavam frente às geleiras por degelo. Isto indicaria um transporte fluvio-glacial de alta energia, para uma planície de inundação, e seria reflexo de mudanças climáticas e degelo durante as migrações dos centros das glaciações pela África e América do Sul.

Segundo Caputo e Lima (1984), o centro das glaciações estava localizado no Norte da África, sul do Saara, na direção do Golfo da Guiné. No siluriano inferior, os centros migraram no supercontinente Gondwana, de norte para sul. Este afastamento dos centros glaciais provocou degelo e elevação eustática do nível do mar, propiciando a deposição da Formação Ipú, e, por conseguinte as demais formações que constituem o grupo Serra Grande.

## 24 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A análise de informações obtidas em banco de dados do Instituto de Geociências, compreendendo diferentes produções intelectuais, trabalhos de campo, apoiados na análise estrutural, pesquisa em artigos sobre a evolução de terrenos de alto grau metamórfico encontrados na literatura geológica serviram como suporte para se apresentar uma sequencia dos eventos geológicos registrados na área de realização desse trabalho.

A coluna litoestratigráfica da área é mostrada na figura 01, sendo os processos litogenéticos que levaram à constituição da mesma, descritos a partir dos mais antigos para os mais recentes.

Coluna Litoestratigráfica							
Éon	Era	Período	Idade (Ma)	Unidade Litoestratigráfica	Simbologia	Descrição	
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	65,5	Cobertura Quaternária	Qa	Detritos rochosos de tamanho variado e sem classificação.	
				Depósitos Coluvionares		Argilas, areias argilosas e quartzosas.	
Proterozóico	Paleozóico	Siluriano	410	Grupo Serra Grande	Ssgi	Arenitos e arenitos conglomeráticos.	
			500	Grupo Jabbaras	sojp	Arenitos micáceos, de coloração cinza, granulação muito fina, bem selecionado com estratificação plano-paralela, cruzada tabular angular; marcas onduladas, laminação convoluta.	
		540	Grupo Massapê	sojm	Conglomerado polimítico brechóide, com grãos constituintes do arcótipo com dimensões que variam desde setas até milímetros e com grau de arredondamento variando de angulosos a sub-angulosos.		
	Neoproterozóico	Ediacarano	550	Suíte Intrusiva Mieluoca	Np <sub>7</sub> 3i	Granodiorito Anil	Granodioritos, monzogranitos e sienogranitos, de cor cinza levemente rosados isotrópicos ou com estrutura de fluxo magmático sutis com enclaves.
			850				
	Paleoproterozóico	Riáciano	2050	Complexo Ceará	Unidade Independência	Ppcc	Gravesses migmatizados com feições migmatíticas, rochas metabásicas, metagesso, metareníticas, metacalcários, anfíbolo gravesses e anfíbolo, calcossilicáticas.
						Ppci	Sequência de rochas de paradiarivação, composta por granada-silimanita micaxisto, muscovita-biotita gravesse, granada-biotita gravesse, rochas calcossilicáticas, com lentes de anfíbolo, mármore e quartzo.
Ppgc						Enderbitos que apresentam coloração cinza escura com leves tons esbranquiçados, granulação fina a média, e bandamento, definidos por bandas milimétricas de coloração branca, ricas em minerais físsicos (quartzo, feldspato) que intercalam com bandas escuras predominantemente constituídas de minerais máficos (piroxênio e/ou anfíbolo).	
		2300			Faixa Granulítica de Cariré		

Figura 01 - Coluna litoestratigráfica proposta para a área do trabalho.

A correlação com processos geológicos acontecidos fora da área de trabalho é buscada visando uma maior consistência com aquilo que se descreve no espaço específico da área objeto dessa pesquisa.

Da fissão de blocos crustais arqueanos, como resultado de adelgaçamento litosférico, onde seriam geradas margens continentais passivas, nas quais se depositaram sequências siliciclásticas e carbonáticas poderia ter resultado o contexto geotectônico inicial para explicar a ocorrência das rochas do Complexo Ceará que ocorrem na área em consideração.

Em seguida, em um ambiente de convergência de massas, teriam tido lugar a formação de arcos magmáticos e de zonas de subducção, onde novos processos geológicos de litogênese e de transformações metamórficas aconteceriam.

Assim, as rochas encontradas no Complexo Ceará: gnaisses de orto e paraderivação, metamorfisados em condições de médio a alto grau, aos quais se associam a anfibolitos podem representar um ambiente geotectônico de fechamento de um domínio oceânico no modelo de cadeias de subducção (Ver Figura 02).

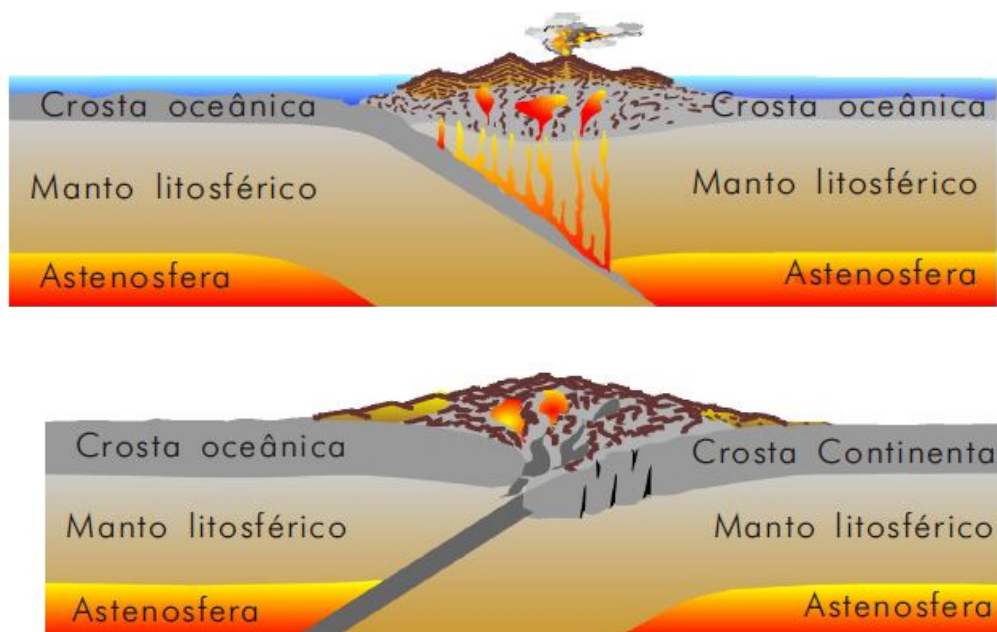


Figura 02 – Processos colisionais envolvendo: crosta oceânica com crosta oceânica e crosta oceânica com crosta continental.

Fonte: Decifrando a Terra. Teixeira et al (2000)

A figura 03 vislumbra o funcionamento de zonas de subducção que deram lugar ao aparecimento de arcos magmáticos, nas quais dominaram as suítes TTG (tonalito-trondjemito-granodiorito). Um ambiente que poderia ser a esse quadro assemelhado é o do Oceano Pacífico, no qual pontuam diversos arcos magmáticos (por exemplo o Japão) massas continentais maiores e mais consolidadas como é o caso da Austrália).

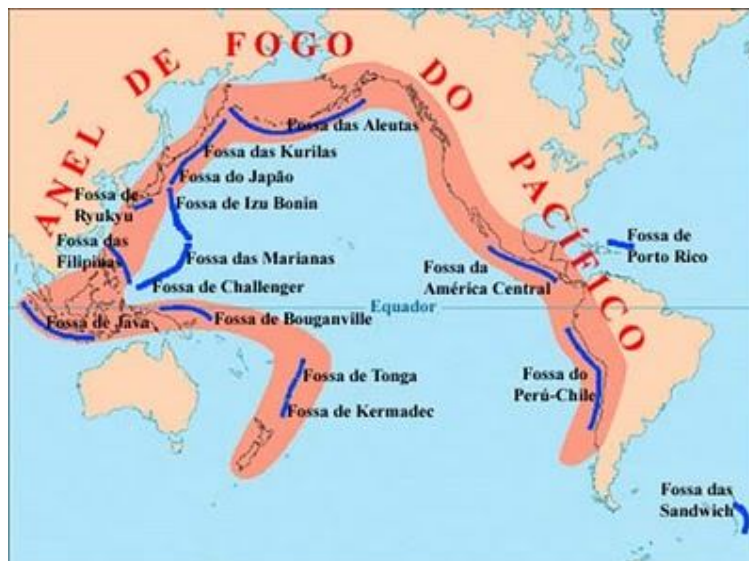


Figura 03 - "Anel de fogo do Pacífico" com a concorrência de vários arcos magmáticos e zonas de subducção.  
Fonte: Google

Dessa forma poderíamos dizer que a Faixa Granulítica de Cariré, uma das unidades do Complexo Ceará, representa rochas de ortoderivação de composição intermediária (enderbitos) submetidas a condições metamórficas de alto grau que foram alojadas/imbricadas tectonicamente em/com outros tipos de gnaisses presentes nessa unidade geotectônica.

A Unidade Independência constituída por granada-sillimanita micaxisto, muscovita-biotita gnaisse, granada-biotita gnaisse, granada-muscovita-biotita gnaisse, rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos, representariam sequências siliciclásticas e carbonáticas. A Unidade Canindé, representada por ortognaisses félsicos, provavelmente seria derivada de tonalitos e granodioritos, das antigas suítes TTG, e em menor proporção paragnaisses, anfibolitos, e rochas metaultramáficas.

Em se tratando da formação de um arco magmático, no contexto de uma zona de subducção de crosta oceânica, a geração do magma nessas áreas está ligada principalmente a processos que têm o envolvimento da interação da placa em subducção, com o manto subjacente. Os magmas gerados neste ambiente de arco magmático ascendem dentro da crosta continental ou oceânica, onde eles resfriam e sofrem a cristalização fracionada. Acontece então, a interação química entre esse magma e a crosta. Este processo produz uma grande diversidade na composição química dos magmas, que variam desde basaltos, passando por andesitos, até riolitos.

Na área em consideração, os processos cinemáticos de convergência levaram à imbricação dos litotipos (protólitos) e ao espessamento crustal donde decorrem a tectogênese e o metamorfismo, cujos parâmetros de pressão se relacionam à colocação dos litotipos em níveis crustais distintos e os de temperatura parcialmente a essa inserção, bem como à presença de magmas, quando acontecem os processos de fusão, os quais contribuem para a alteração local e regional dos gradientes térmicos.

A geometria das estruturas presentes tem relação com a forma e a dimensão dessas interações, entre bacias sedimentares/vulcano-sedimentares e as suítes magmáticas que venham a ser formadas, assim como a presença de blocos rígidos não de todo afetados por esses processos.

No contexto do mapa geológico, o Complexo Ceará compreende ortognaisses (anfíbólio-biotita gnaisses que se encontram por vezes intercalados com lentes de anfibólito) que podem ser entendidos como resultado de uma sucessão magmática, relacionadas à cristalizações fracionadas não muito clara ainda, dos arcos na região estudada. No entanto, a presença de *augen* gnaisses que podem ter sido granitos porfiríticos ou mesmo de ortognaisses de tendência mais alcalina indicam que essa sucessão pode ter acontecido. Nesse mesmo ambiente, também acontece a formação de protólitos sedimentares como biotita gnaisses, granada-biotita gnaisses e sillimanita-biotita gnaisses. As condições de metamorfismo em que ocorreram esses fenômenos foram fundamentalmente as da fácies anfibólito alto, marcada pela estabilização de sillimanita, pela extensiva presença de feições de migmatização e pelas assembléias minerais nas rochas do Complexo Ceará.

Na interpretação de Arthaud et al (1998) essa é uma unidade homogênea, tanto em estilo tectônico como em suas condições de metamorfismo, caracterizada pela presença de forte tectônica tangencial sublinhada por zonas de cisalhamento inversas e metamorfismo do fácies anfibolito, com frequente indícios de anatexia, atingindo, pontualmente, condições de fácies granulito.

A repetição de gnaisses e a presença de rochas infracrustais, como enderbitos, sugerem que num período inicial da história deformacional estas rochas tenham sido alçadas tectonicamente como lascas, propiciando um complexo imbricamento de rochas de natureza e idades distintas. A relação foliação/lineação corrobora a atuação de cavalgamentos oblíquos ou em rampa lateral na área. Tais informações podem ser claramente observadas na região de Cariré, na porção norte do mapa.

O rápido soergimento da crosta, seja pelo transporte tectônico e imbricação que promovem o espessamento vertical dos litotipos, seja efeitos isostáticos resultantes desse espessamento levaram a uma descompressão isobárica durante esta deformação, evidenciadas pela ocorrência de reações minerais e texturais nos metapelitos, normalmente retromórficas (Complexo Ceará) e enderbitos (Faixa Granulítica de Cariré), indicando uma acelerada perda de pressão para a região. A presença de veios pegmatíticos indica que houve a atuação de uma fase fluida granitóide. Todos esses processos levaram à constituição do Supercontinente Atlântica, no qual se insere a área de trabalho dessa monografia.

Todos esses processos geológicos aconteceram durante um longo intervalo de tempo até recentemente denominado Ciclo Transamazônico. Durante esse período de grande atividade termo-tectônico, aconteceram os processos geológicos responsáveis em grande parte pela litogênese, geometria, estrutura e metamorfismo presentes regionalmente e na área de estudo imprimiu nas rochas nele envolvidas, feições estruturais marcantes, representadas por estruturas planares e lineares. Essas se configuram em um contexto que associam movimentações de massas em cavalgamentos e transcorrências com cinemática predominantemente dextral. Evidência desses cavalgamentos pode ser a presença da Faixa Granulítica de Cariré que mostra o alçamento de porções infracrustais. Os enderbitos dessa faixa granulítica foram datadas por Fetter (1999) pelo método U/Pb em zircões, tendo sido obtidas idades de  $2.095 \pm 11$  e  $2.110 \pm 66$  Ga que correspondem a época de geração da rocha pré-metamórfica. Isto teria ocorrido no

período do Paleoproterozóico compreendido como o RIACIANO (entre 2050 e 2300 Ma).

O Mesoproterozóico, compreendido entre 1.6 – 1.0 Ga, corresponde, na área de estudo e nas suas vizinhanças a uma Era de estabilidade e calmaria. Em nível mundial, o Mesoproterozóico assistiu à fragmentação de Atlântica, a reaglutinação de massas continentais e ao desaparecimento de domínios oceânicos que levaram à constituição do Supercontinente Rodínia, em eventos tais como Cariris Velhos na porção transversal da Província Borborema, Greenville, etc.

No início do Neoproterozóico, outro quadro de dispersão continental se instala regionalmente, o que levou à formação de domínios oceânicos, ou de *riffts* em diversos graus de evolução (Oceano Farusiano, Faixa Araguaia, Faixa Gurupi, etc).

Na área pesquisada, não há registro de sedimentação relacionadas à essa fase de oceanização, a qual poderia, mais distalmente, ser representados pelos grupos Martinópole e Ubajara, os quais poderiam ser respectivamente alóctones e parautóctones dessa sedimentação, lançados sobre o Bloco Granja (figura 4). Nas margens desses blocos constituídos pela abertura de domínio marinho, teriam sido depositadas as rochas crustais que viriam a constituir os grupos referidos. Esse espaço distensivo seria favorecido, durante a sua evolução, pela existência das várias descontinuidades da Proto-Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II e de outras zonas de cisalhamento que articularam diversos conjuntos lito-estruturais da amalgamação Paleoproterozóica.

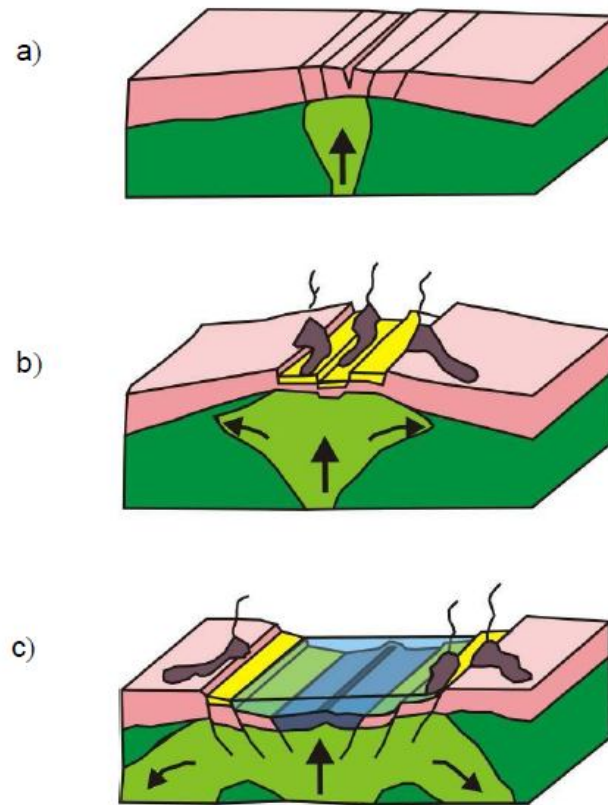


Figura 04 – Modelo hipotético de formação de rift com deposição posterior de sedimentos no domínio marinho (formação dos protólitos da sequência Martinópole-Ubajara): a) formação de rifts primários; b) abertura de um proto-oceano, com deposição das primeiras sequências marinhas e vulcanismo associado, estruturação principal durante o Paleoproterozóico, arcos magmáticos e sequências sedimentares representadas por kinzigitos e quartzitos ; c) oceano propriamente formado, com sequências marinhas individualizadas.

Nesse período, Neoproterozóico, ocorreu a fragmentação do Supercontinente Rodínia, o qual na área em consideração seria em grande parte controlada pelos arranjos geométricos herdados da amalgamação de Atlântica, constituída por três supercontinentes: Gondwana Ocidental, Oriental e Laurentia. (Ver Figura 05).

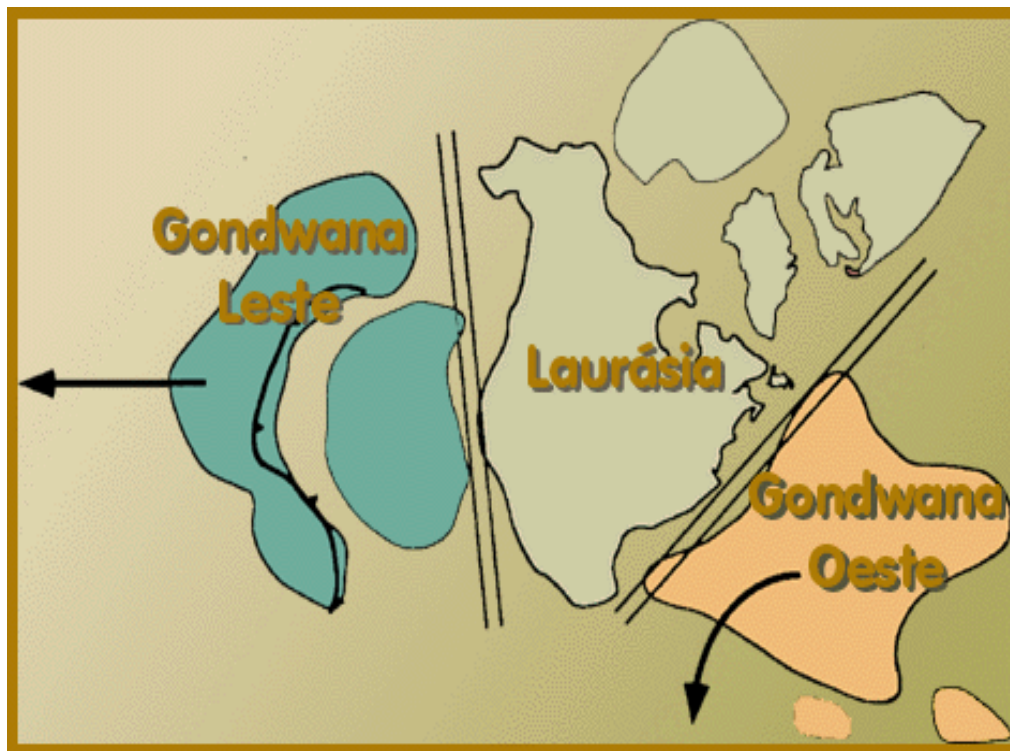


Figura 05 – Configuração provável da distribuição dos blocos continentais após a quebra do Supercontinente Rodínia. Modificada de Rogers (1996).

Teria, dessa forma, existido um domínio oceânico à NW da Província Borborema, antes da amalgamação do Gondwana Ocidental, o oceano Pharusiano presumivelmente. Esses dados sustentam a continuação de uma margem passiva dentro da América do Sul, a partir da África Ocidental.

Durante o Criogeniano Superior e Vendiano (0,78 a 0,57 G.a) intensificaram-se os eventos tectônicos na Província Borborema, provocando a amalgamação dos supercontinentes Gondwana Oriental e Ocidental, formando um único supercontinente, o Gondwana, em um evento conhecido como Ciclo Brasileiro (figura 05).

Esse super-continente Gondwana compreenderia as massas continentais que hoje representam a África, América do Sul, Austrália, Índia e Antártida (TROMPETTE, 1994) amalgamadas, em uma colisão oblíqua do tipo himalaiana (CABYET et al., 1995) a qual produziu nas zonas limítrofes dos blocos em colagem um amplo sistema de deformação e dobramentos que deu origem ao que Almeida et al (1977) denominou “Província Borborema”.

No contexto da área de trabalho, esses processos levaram a constituição de um arco magmático, denominado Arco de Santa Quitéria, muito bem representado no Domínio Ceará Central. Fetter et al (2002) se referem a esse arco como sendo continental, ou seja, em contexto de margem ativa do tipo andino, com mergulho do segmento oceânico preferencialmente para leste (Ver figura 6).

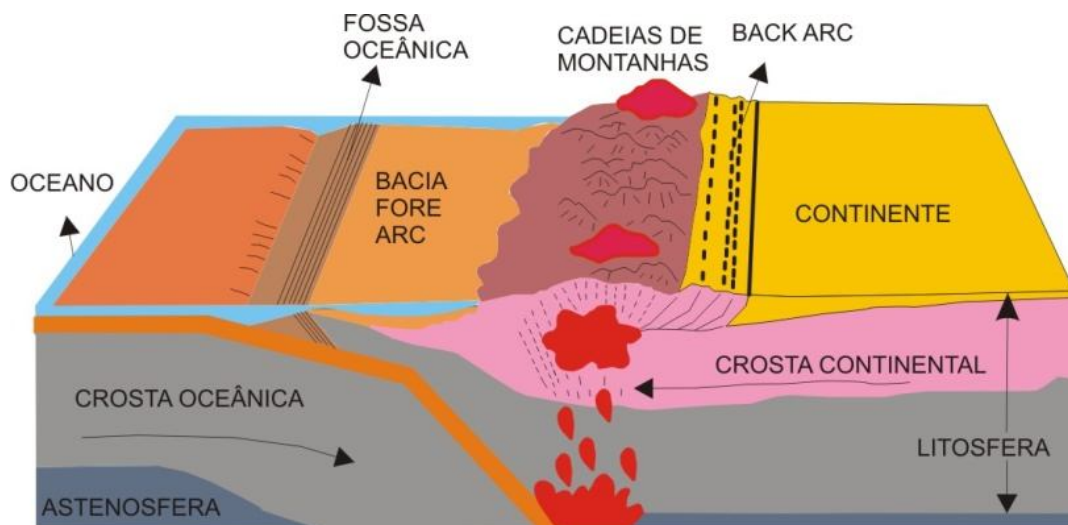


Figura 06 – Blocodiagrama ilustrando o ambiente colisional que propiciou a formação das rochas do complexo Ceará na área de estudo.

O final do Vediano é marcado por indícios de forte glaciação na região em consideração. Esta, aconteceu sobre uma área de relevo acentuado, resultado da tectônica brasileira (SANTOS, 2001) que teria espalhado a sedimentação Massapê-Pacujá por extensas áreas. A natureza dessa sedimentação, conforme Quadros (1996) é de ambiente lacustre com vulcanismo associado, não se descartando inclusive a possibilidade de que seja marinho plataformar (Ver Figura 05). Concomitantemente a esses processos, nas zonas de articulação de blocos e sobre descontinuidades intrablocos, em uma tectônica ressurgente, instalam-se, em contexto distensivo, movimentações predominantemente normais, resultante de colapso da estrutura crustal, relacionadas ao adelgaçamento litosférico, possibilitando a subida das isothermas, que forneceram calor para a crosta e possibilitaram a fusão de rochas da base desta e/ou do manto litosférico.

Esses fenômenos teriam acontecido no final do Brasiliano e deles decorreria a implantação do chamado Gráben Jaibaras (ABREU et al., 1993).

A Sequência Depositional do Gráben de Jaibaras, conforme esboçado por M.S. Costa (2011) pode ser entendida na forma de três unidades litoestratigráficas cujas características faciológicas permitiram propor modelos deposicionais desenvolvidos em diferentes estágios de evolução de um rifte. O estágio *sin-rifte* inicial inclui a Formação Massapê constituída de conglomerados de leques aluviais com intercalações vulcânicas (Suíte Parapuí), que representam os primeiros pulsos de sedimentação da Bacia. O estágio *sin-rifte* intermediário é marcado por relativa estabilidade tectônica, onde foram formados arenitos, siltitos, pelitos e brechas da Formação Pacujá, cujas fácies caracterizam um ambiente fluvio-deltaico a marinho. Nesta fase, implantam-se sistemas turbidíticos de prodelta, onde a associação com icnofósseis sugere incursão marinha. O *sin-rifte* final é representado pelos depósitos de leques aluviais e canais fluviais de alta energia da Formação Aprazível, discordantes às formações Massapê e Pacujá.

As rochas sedimentares têm composição mineralógica siliciclástica na sequência deposicional do Gráben Jaibaras, que foi controlada por fatores tectônicos e climáticos.(Figura 06). A sedimentação em bacia do tipo rifte permite o acúmulo e soterramento rápido de sedimentos oriundos de fontes adjacentes. No Paleozóico Inferior, o Supercontinente Gondwana estava situado a altas latitudes, próximo ao pólo sul. As condições de baixas temperaturas minimizaram o intemperismo químico dos grãos, favorecendo a preservação de grãos lábeis.

A alta taxa de estiramento e adelgaçamento que culminaram na instalação do Gráben Jaibaras permitiu também a colocação intrusiva de plútons como os da Suíte Intrusiva Meruoca.

A movimentação das principais linhas de fraqueza permitiram a deposição de conglomerados polimíticos, sob clima seco, em ambiente de leque/planície aluvial e lacustre, que ocorreu depois da deposição da sequência Massapê-Pacujá e das intrusões dos granitos da Suíte Meruoca, os quais serviram de áreas-fonte, e antes da deposição dos sedimentos do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba (QUADROS, 1996).

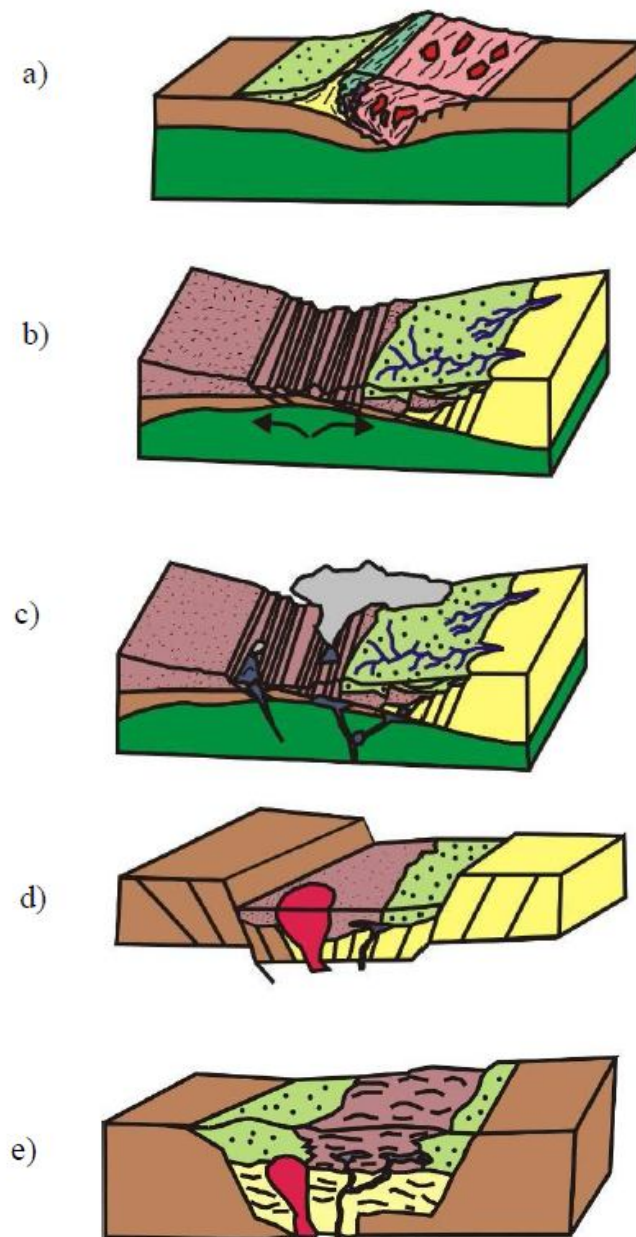


Figura 07 – Modelo esquemático para a evolução do Gráben Jaibaras: a) Deposição da sequência Massapê-Pacujá; b) formação do rift; c) evolução do rift e vulcanismo associado; formação do Gráben Jaibaras, com aprisionamento dos sedimentos da sequência Massapê-Pacujá, intrusões graníticas e vulcanismo; e) Inversão do Gráben.

O arcabouço estrutural da Bacia do Parnaíba (flancos leste e sul) é fortemente condicionado às recorrências do Lineamento Transbrasiliano

(Lineamento Sobral – Pedro II) e de vários outros lineamentos como é o caso de Granja e Santa Rosa, durante a formação de antigos *rifts* depocentros Eopaleozóicos associado aos eventos do ciclo termo-tectônico Brasileiro (Ver Figura 07).

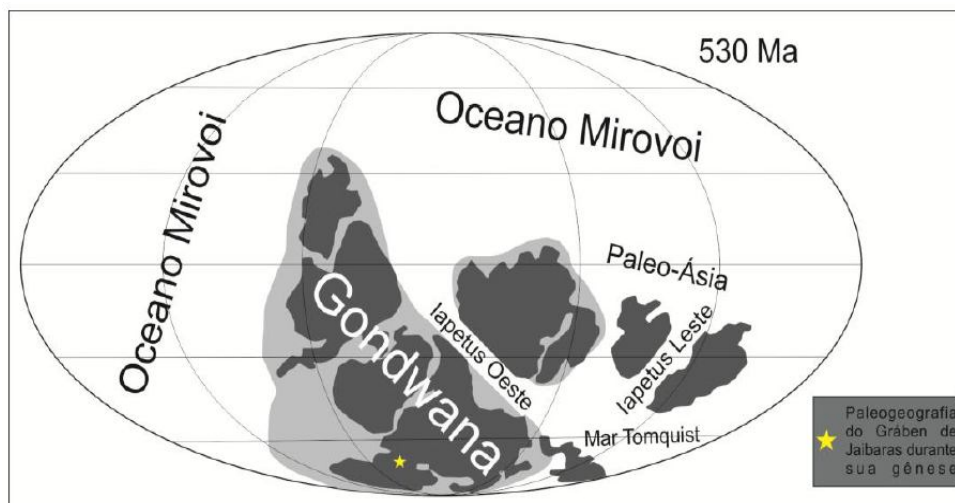


Figura 08 – Paleogeografia do Supercontinente Gondwana a 530 milhões de anos, durante a consolidação do Gráben de Jaibaras (Adaptado de PISAREVSKY et al 2008).

Durante o Siluriano (aprox. 436 a 428 M.a), o depocentro desta bacia situava-se nas proximidades de Ipu (CE). Esta região apresentava a maior subsidência do sistema de blocos associados ao lineamento Sobral – Pedro II. O grande espaço de acomodação gerado tornou possível a sedimentação das espessas camadas características do Grupo Serra Grande (Ver Figura 08).

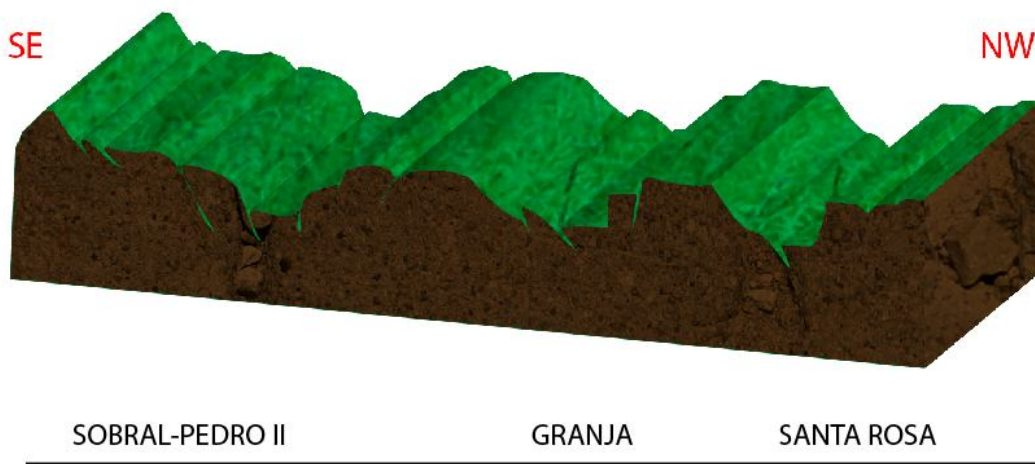


Figura 08 : Representação esquemática de deposição de sedimentos na bacia do Parnaíba.

A configuração atual do relevo da área tem relação com os processos geodinâmicos relacionados à formação do Atlântico Equatorial e Sul, a partir do Cretáceo Superior, durante a denominada Reativação Wealdeniana, cujos processos tectônicos separaram e individualizaram a Província Borborema dentro do território brasileiro. A Reativação Wealdeniana, foi definida por Almeida (1989), como um intenso tectonismo tafrogênico, acompanhado de amplo magmatismo básico e que desenvolveu os “*horsts*” e os *grabens* condicionantes das bacias mesozóicas. Esta tectônica de blocos reflete um controle dos alinhamentos pré-cambrianos.

Apartir do Cretáceo reconfigura-se um novo arranjo geotectônico com a formação de uma margem passiva, na borda atlântica, ao longo do limite leste do continente sul-americano. A forma com que os processos, citados anteriormente, foram combinados, possibilitou o realce de lineamentos estruturais pré-existentes e o aparecimento de outros novos, os quais são os controladores em grande parte do encaixe do padrão de drenagem regional. A larga área da superfície sertaneja está intimamente ligada a processos erosivos que dissecaram estes terrenos, compostos por rochas geralmente gnáissicas migmatizadas, fortemente anisotrópicas, formando imensas áreas pediplanadas.

Ao sistema de drenagem atual e a evolução morfotectônica que se inicia com a reativação Wealdeniana estão relacionados os processos de deposição coluvionais da linha de regressão da borda leste da Bacia do Parnaíba e os depósitos aluvionares ao longo da rede de drenagem hoje existente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações extraídas a partir das imagens de sensoriamento remoto e aerogeofísicas dão ao mapa geológico digital maior confiabilidade e credibilidade. Devido ao convênio estabelecido entre a Universidade Federal do Pará e o Serviço Geológico do Brasil, que trata do mapeamento geológico da escala de 1:100.000 de folhas no noroeste do Ceará, os procedimentos empregados neste trabalho foram utilizados como teste para a preparação de cartas geológicas no padrão estabelecido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – o Serviço Geológico do Brasil e inseridos no Banco de Dados desta companhia, chamado de Base Aflora, para posteriormente inclusão no Geobank, o banco de dados geológicos digital disponível na internet, no site da empresa.

No desenvolvimento deste trabalho foi possível assinalar a importâncias das geotecnologias para uso de diversos ramos, nesse caso a cartografia geológica digital desta importante região nordestina, que é a região de Ipú, que antes ficavam restritas aos escaninhos da UFPA.

O processamento e análise de dados georreferenciados e obtidos a partir de informações de imagens TM/LANDSAT-5 e imagens do aerolevante geofísico Projeto Rio Acaraú apresentaram vantagens e limitações na discriminação de unidades geológicas. Desse modo os produtos gerados forneceram informações adicionais e complementares para a cartografia da região de Ipú.

As vantagens dizem respeito principalmente a possibilidade de realizar a cartografia geológica digital de grandes áreas e de centralização de pesquisas em áreas alvo-promissoras em mineralização, com custo relativamente baixo e ganho de tempo em relação aos métodos tradicionais de mapeamento geológico.

As limitações, por sua vez, são decorrentes da baixa resolução espacial, espectral e radiométrica dos sensores utilizados, dependendo da escala utilizada.

A gamaespectrometria, com a amostragem das emanações em radiações gama dos radioelementos naturais, possibilitou o detalhamento mais superficial do quadro representativo das rochas que afloram na região de Amanaiara - Reriutaba. Os produtos aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos foram utilizados tanto para caracterização do arcabouço geológico regional quanto para diferenciar unidades litogeofísicas e, posteriormente, para detalhar a área mapeada. Este

procedimento permitiu uma visão mais ampla das unidades de mapeamento, bem como dos grandes traços estruturais da região de estudo.

Em linhas gerais, a separação em domínios radiométricos permitiu identificar no mapa o grupo de litotipos mais característico de cada unidade geológica da área de estudo. Por exemplo, a utilização das imagens do canal de Contagem Total e de Potássio foram importantes, pois permitiram delimitar o grupo de rochas que tem alta teor de Potássio. Já o canal de Tório ratificou o grande intemperismo químico, com enriquecimento desse elemento, na borda da bacia da Ibiapaba, que antes foi verificado através das imagens de sensores.

O Canal de Urânio, por ser um elemento de alta mobilidade mostrou concentrações elevadas nos leitos de drenagens e no colúvio advindo da Serra de Ibiapaba, revelando-se produto de lixiviação.

As imagens magnetométricas não foram de grande utilidade na discriminação de unidades geológicas, em vista do padrão magnético da área possibilitar o agrupamento de grupo de rochas que refletiram em respostas magnéticas possíveis de identificar apenas o comportamento de alguns grupos de rochas, e não um litotipo ou unidade geológica separadamente.

A modelagem tridimensional foi importante, pois permitiu representar o terreno da área de estudo, facilitando uma análise topológica e morfológica do relevo, com um grau de detalhamento maior que as obtidas através de técnicas convencionais.

Com a utilização deste recurso, em conjunto com a fotointerpretação convencional e de imagens TM/LANDSAT, foi possível caracterizar as formas de relevo, feições lineares e alinhamentos de relevo e de drenagem, permitindo a separação em domínios geomorfológicos e feições fisiográficas presentes da região de estudo. Os domínios identificados foram correlacionados com a geologia local, permitindo-se uma visão mais ampla dos processos geológicos ocorridos na região de estudo.

O processamento de imagens digitais de sensoriamento remoto para a discriminação espectral de unidades litológicas é uma técnica muito eficaz em regiões áridas a semi-áridas, como é o caso da região de Amanaiara - Reriutaba. As imagens TM realçadas com filtros direcionais, foram de grande valia no auxílio da delimitação das unidades geológicas, correlacionado a interpretação das imagens aerogeofísicas, além do trabalho de campo.

As técnicas de realce espectral das bandas TM, em geral apresentam poucas informações para identificação dos tipos de rochas existentes na área. Neste caso, priorizou-se na maioria das vezes, para discriminação das unidades litológicas, a análise dos padrões texturais, das formas de relevo e de drenagem realçadas.

Os métodos da Razão entre Bandas e a transformação IHS foram úteis como auxiliar na delimitação de unidades geológicas, pois através dessa técnica foi possível individualizar alvos com a mesma resposta espectral, favorecendo a geologia, e apoiado nos trabalhos de campo.

As composições coloridas permitiram a separação de domínios texturais nas imagens, correlacionandoas respostas espectrais aos afloramentos dos trabalhos de campo realizados, e mostrou-se bastante satisfatória na delimitação das unidades.

Os dados aerogeofísicos permitiram avaliar a contribuição de radio elementos sobre as rochas estudadas e, estabelecer a integração com os dados de sensoriamento remoto para fins de caracterização lito-estrutural, e como forma de apresentar uma proposta multidisciplinar para auxiliar na cartografia geológica.

Os resultados finais são importantes na medida em que disponibilizam informações valiosas para as atividades de treinamento e capacitação de pessoal dedicado à cartografia geológica básica, atividade que ainda será desenvolvida por décadas pelo Brasil afora.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, F. A. M.; GAMA JR, T. G.; GORAYEB, P. S. S.; HASUI, Y. 1988. **O Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7. Belém, 1988. *Anais ...* Belém, SBG. v. 1. p. 20 - 34.
- ABREU, F. A. M.; GORAYEB, P. S. S. 1992. **Feições Lito-estruturais e Critérios Cinemáticos no Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará.** In: CONG. BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. *Anais...* São Paulo, SBG. v. 1 p. 300 - 301.
- A, J. D. **Aerogeofísica no Brasil e sua evolução nos últimos 50 anos.** Fugro - Lasa Airborne Surveys. SIMPOSIO DE GEOFÍSICA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA. 1., 2004.
- ALMEIDA, F.F.M. de **Diferenciação tectônica da plataforma brasileira.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23., Salvador, 1969. *Anais...* p. 29-46
- BEISL, C.H. **Integração de dados de sensoriamento remoto, geologia, gravimetria e topografia para o estudo do arcabouço estrutural em uma parte do compartimento nordeste da bacia do Recôncavo.** São José dos Campos, 2003. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE.
- BLUM, M. L. B. 1999. **Processamento e interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e suas aplicações a Geologia Regional e a Prospecção Mineral.** Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 229f. Tese de Doutorado.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; FETTER, A. 2001. **Noroeste África-Nordeste do Brasil (Província Borborema). Ensaio comparativo e problemas de correlação.** Revista do Instituto de Geociências da USP. São Paulo, v.1, p.59-78.
- CAPUTO, M. V. E.; LIMA, E. C. 1984. **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande - Bacia do Parnaíba.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 2. p. 07 - 21.
- CORDANI, R. 2005. **Um critério para escolha da direção de linhas de vôo em aeromagnetometria no Brasil.** In: **Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.**

DIVINO, F. **Conceitos Básicos do Sensoriamento Remoto**. [S.l.]: [s.n.], 2005.

GORAYEB, P.S.S.; LAFON, J.M. Geocronologia Rb – Sr do Granodiorito Anil – CE. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NORDESTE, 16., Recife. 1995. p. 274 – 276.

GORAYEB, P. S. S.; Abreu, F. A. M.; Moura, C. A. V. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara - Jaibaras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 35., Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG. v. 6. p. 2678 - 2688.

GORAYEB, P.S.S.; LEMOS, R.L.; ABREU, F.A.M. O granodiorito Anil: caracterização geológica e petrográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 38, Camboriú, 1994. Bol. Res.ExpCamboriú, SBG.v.1.p.156-158.

GUNN, P.J. 1998. **Interpretation of airborne magnetic and radiometric surveys**. Course. AGSO. 150 p.

FETTER, A. H.; VAN SCHIMUS, W. R.; DOS SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRANETO, J. A.; ARTHAUD, M. H. U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent "Atlântica" . In: **Revista Brasileira de Geociências**, v.1, n.30, p.102-106, mar., 2000.

GORAYEB, P. S. S.; ABREU, F. A. M.; MOURA, C. A. V. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara - Jaibaras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 35. Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG. v. 6. p.2678 - 2688.

Horsfall, K. R. **Airborne magnetic and gamma-ray data acquisition**: AGSO J. Austral. Geol. and Geophys. N.17, p. 23-30. 1997.

IINSTITUTO de Pesquisa Nacional Espacial. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acess em: 11 jun. 2010.

KILLEEN, P.G. Gamma ray spectrometric methods in Uranium exploration - Application and interpretation. In: HOOD, P.J. **Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores. Economic Geology Report**, 31, GSC, 1979. p.163-229.

MABESSONE, M.J. História geológica da Província Borborema (NE do Brasil) – **Revista Brasileira de Geologia**, v.15, p.119-129, 2002.

MINTY, B.R.S. **Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data**. Expl. Geoph. 22, 1991. p.591-592.

MOREIRA, M. M. M. A.; GATTO, L. G. S. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. **Geomorfologia da folha SA-24 Fortaleza**. Rio de Janeiro, MME/DNPM. Cap. 1, 1981. p. 23 – 212.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 2. ed. 2003, rev. e ampl. Viçosa, 2003.

NASCIMENTO, R. S.; GORAYEB, P. S. S. Basaltos Da Suíte Parapuí, Gráben Jaibaras, Noroeste do Ceará: Caracterização, Petrografia, Geoquímica e Química Mineral. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 34, 2004.

PISAREVSKY, S. A. et al. Late Neoproterozoic and Early Cambrian palaeogeography: models and problems. In: PANKHURST, R. J. et al (eds). **West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region**. Geological Society, London, Special Publications, 294, 9–31. 2008

SANTOS, Márcia Valadares dos. **Ferramentas Multidisciplinares Aplicadas a Cartografia Geológica: O exemplo da Folha Sobral – CE (AS-24-Y-D-IV)**. 2010. 219f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2009.

SOUZA FILHO, C. R.; CRÓSTA, A. P. Geotecnologias Aplicadas à Geologia. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 33, 2003.

SOUTO, Roberto Pinto. **Segmentação de imagem multiespectral utilizando-se o atributo matiz**. São José dos Campos: INPE, 2000. Disponível em <[www.obt.inpe.br/pgsere/Souto-R-P-2000/publicacao.pdf](http://www.obt.inpe.br/pgsere/Souto-R-P-2000/publicacao.pdf)>. Acesso em: 16 out. 2006.

YARDLEY, B. W. D. **Introdução à Petrologia Metamórfica**. Tradução de Reinhardt Adolfo Fuck. 2. ed. Brasília: Revista. Edunb, 2004. 434 p.