

**NÚMERO: 361/2006**



**UNICAMP**

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

**JULIANE CRISTINA FERREIRA UCHÔA**

**ANÁLISE ESPACIAL DOS CORPOS PLUTÔNICOS DO CINTURÃO  
MINEIRO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS,  
AEROGEOFÍSICOS E GEOQUÍMICOS**

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

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup> Dra. Adalene Moreira Silva  
**Co-orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Catarina Labouré Benfica Toledo

**CAMPINAS-SP  
Agosto/2006**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA CENTRAL DA UNICAMP**

Uchôa, Juliane Cristina Ferreira.

Uc4a Análise Espacial dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro através da integração de dados geológicos, aerogeofísicos e geoquímicos/ Juliane Cristina Ferreira Uchoa.- Campinas, SP.: [s.n.], 2006.

Orientadores: Adalene Moreira Silva, Catarina Labouré Benfica Toledo.

Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Geofísica. 2. Geoquímica . 3. Geologia Estrutural.

4. Espectrometria de raio gama. I. Adalene Moreira Silva. II. Catarina Labouré Benfica Toledo. III Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. IV. Título.

Título em inglês: Spatial analysis of plutonics bodies of mineiro belt trough integration of geological, airborne geophysical data and geochemical data.

- Geophysics;

- Geochemistry;

- Geology Structural. .

Área de concentração: Metalogênese

Titulação: Mestre em Geociências

Banca examinadora: - Carlos Roberto de Souza Filho;

- Francisco José Fonseca;

Data da defesa: 30/08/2006



**UNICAMP**

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

**AUTORA: JULIANE CRISTINA FERREIRA UCHÔA**

**ANÁLISE ESPACIAL DOS CORPOS PLUTÔNICOS DO CINTURÃO  
MINEIRO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS,  
AEROGEOFÍSICOS E GEOQUÍMICOS**

**ORIENTADORA Profa. Dra. Adalene Moreira Silva**

Aprovada em: 30 / 08 / 2006

**EXAMINADORES:**

**Profa. Dra. Adalene Moreira Silva**

Adalene Moreira Silva - Presidente

**Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira**

Francisco José Fonseca Ferreira

**Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho**

Carlos Roberto de Souza Filho

Campinas, 30 de agosto de 2006

200721889

*No ardor da adolescência queria revolucionar o mundo, passeatas, palavras de ordem, o sangue “vermelho” fervia nas veias!!!*

*Hoje quem me revolucionou foi a ciência... é o ponto de apoio que move o meu mundo, como já dizia Arquimedes...*

*Para minha família e o Helder, em especial minha mãe, maior razão da minha existência.*

## **Agradecimentos**

Agradeço todas pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao CNPQ, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos cedida.

À Fundação de Amparo de Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro projeto (Proc.No. 02/090038-6).

Agradeço a Prof<sup>ª</sup> Dra. Adalene Moreira Silva e Dra. Catarina L. B. Toledo por todos os ensinamentos sejam acadêmicos ou de vida, pelas grandes momentos de discussão geológica e geotecnológica. Á vocês minha eterna gratidão pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis da minha passagem por Campinas e minha eterna admiração.

Agradeço ao Prof<sup>º</sup> Dr.Ticiano e a sua esposa Érica por todo carinho e confiança, uma mão amiga jamais se esquece.

Agradeço ao Prof<sup>º</sup> Élson Paiva, pelo auxílio nas referências bibliográficas.

Agradeço ao Prof<sup>ª</sup> Carlos Roberto de Souza Filho pelo auxílio e incentivo a este trabalho.

Agradeço ao Prof<sup>º</sup> Carlos Maurício Noce, pelos dados geocronológicos cedidos.

Aos funcionários do IG/UNICAMP, Edinalva e Maurícia pelos vários favores prestados. Ao Sr. Anibal por aquele cafezinho no final do dia. Em especial a Valdirene (Valzinha) por toda atenção e carinho. Você é uma pessoa muito especial! E aos demais funcionários do IG/UNICAMP, o meu muito obrigada!

Aos amigos e colegas de pós-graduação: Vagney, César, Juliana, Ricardinho, Cleyton, Fabiane, Gustavo, Diego, Jimena, Sebastião, Oderson, Luciola, Lobinho, Rodrigo, Emersom, vocês foram a grande família LAPIG. Obrigada pelos momentos de auxílio, descontração e alegria.

Aos colegas de grupo de pesquisa Érico, Andréia, Camila e Mariana por todo auxílio e companheirismo.

Aos amigos, Marlei, James, Alexandrina (Bob), Carlos, Cristiano, e mais uma vez Cleyton por todos os momentos baixo-astrais superados com vossos conselhos.

As meninas da J8 ( Rosângela, Marlei, Tharsila e Fernanda), por todos os momentos divertidos naquela república vividos.

Ao Helder pelo apoio incondicional, pela eterna paciência nos picos insuportáveis que só uma figura terminando uma dissertação pode chegar. Serei sempre grata por todo o seu apoio e carinho. Com amor mais uma vez minha eterna gratidão!

A minha família, em especial minha mãe. Sua existência é a força motriz que me impulsiona, seu exemplo como mãe e mulher jamais serão perecíveis ao tempo. Agradeço a todos os meus irmãos, em especial Wirlene, José Wilmar e Lussiney por todo carinho e apoio.

Agradeço a Deus por toda a minha essência, sem fé jamais chegaria até aqui.



**UNICAMP**

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

**ANÁLISE ESPACIAL DOS CORPOS PLUTÔNICOS DO CINTURÃO  
MINEIRO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS,  
AEROGEOFÍSICOS E GEOQUÍMICOS**

**Dissertação de Mestrado**

**RESUMO**

**JULIANE CRISTINA FERREIRA UCHÔA**

A aquisição de dados aerogeofísicos sobre o Cinturão Mineiro, porção sul do Craton São Francisco, Minas Gerais, exibiu padrões diferentes daqueles mapeados em trabalhos de campo. Uma análise integrada de dados aerogamaespectrométricos, magnetométricos, geoquímica e geológicos de campo resultaram num mapa destes padrões, destacando as relações entre as principais unidades geológicas, como suas estruturas internas e limites.

O realce e análise dos dados aerogamaespectrométricos a partir da classificação não supervisionada apresentaram os principais litotipos, bem como suas variações internas, complementando os dados geológicos existentes. O produto principal é um mapa geológico na escala 1:100.000, onde as principais anomalias geofísicas foram checadas em campo, conferindo-se litologias, contatos geológicos e estruturas.

A interpretação dos dados aerogeofísicos permitiu também a redefinição dos limites dos batólitos São Tiago e Ritópolis difíceis de serem reconhecidos apenas em trabalhos de campo. A análise integrada da aerogamaespectrometria, magnetometria, geoquímica e dados de campo. forneceu novas ferramenta para traçar a extensão areal destes corpos. Os padrões estruturais dentro dos batólitos trouxeram novas idéias dos mais prováveis processos de sua origem.

Três corpos plutônicos foram estudados em detalhe: Ritópolis, Cassiterita e Manuel Inácio. A principal proposta foi a comparação das assinaturas geofísicas, geoquímicas e dados geológicos destes corpos. A assinatura do Ritópolis revelou uma similaridade com os outros granitóides, tais como, Itumirim e de Itutinga. Do mesmo modo, a assinatura do corpo Cassiterita é semelhante aos plútons Tabuões e Rezende Costa.

O plúton Manuel Inácio pode ser mapeado nos dados geofísicos, semelhantemente aos outros corpos máficos conhecidos na região, mas devido suas baixas razões de radioelementos não foi possível correlacionar as variações de K, eTh e U com sua mineralogia.

Finalmente, o contraste das propriedades físicas e características geoquímicas dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro puderam ser comparadas com dados isotópicos e geológicos adquiridos antes desta pesquisa. A integração dos dados ilustra a geração de corpos plutônicos relacionados espacial e temporalmente, contrastando diferentes fontes genéticas.



**UNICAMP**

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

**ANÁLISE ESPACIAL DOS CORPOS PLUTÔNICOS DO CINTURÃO  
MINEIRO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS,  
AEROGEOFÍSICOS E GEOQUÍMICOS**

**ABSTRACT**

**Dissertação de Mestrado**

**JULIANE CRISTINA FERREIRA UCHÔA**

Airborne geophysical data acquired over the Mineiro Belt in the southern portion of the São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil display patterns not previously identified by geological field mapping. The lack of rock exposures and connections among rock formations at surface poses problems for regional geologic mapping and interpretation, which are difficult to be surpassed. An integrated analysis of gamma-ray spectrometric, magnetic, geochemical and field geological data was conducted to map and analyse these patterns, and highlight the relationships between the principal geological units, as well as their internal structures and boundaries.

Enhancement and cluster analysis of the gamma-ray spectrometry data showed their usefulness in mapping subtle compositional variations in the area, which concur with and complement available geological data. The main product is a new geological map at 1:100.000 scale that was ground-checked in order to examine lithological, structural and stratigraphic relationships. The new geological map based on geophysical data enable better definition of geological units and contribute directly to more effective and efficient geological mapping.

The gamma-ray spectrometry data also allowed the boundaries definition of São Tiago and Ritapolis batholiths that have not been all recognized in field mapping and with geochemical data. The integrated analysis of gamma-ray spectrometric, magnetic, geochemical and field geological data provided a tool to map the extent of the compositional and structural patterns within the batholiths and provides insight into the most probable processes of origin.

Because the subtle differences in mineralogy is associated the radioelement zoning in the plutonic bodies of Mineiro Belt may be difficult to detect in the field, enhancement and spectral analysis of gamma ray spectrometric data by unsupervised classification were applied to detected variations that are difficult to interpret from ternary images of the K, eTh and eU grids. The main results allowed the understanding of the geophysical properties and correlation with geochemical and isotopic data.

Three plutonic bodies were studied in detail: Ritapólis, Cassiterita e Manuel Inácio. The main goal was define the geophysical and geochemical signatures of these bodies and extrapolate to another areas and provide new insights to the origin of such plutons. The Ritapolis signature reveals a similarity with the Itumirim and Itutinga granitoids, while the Cassiterita signature is well mapped at the Tabões and Rezende Costa domains.



The Manuel Inacio plutonic body can be mapped in the airborne geophysical data as well as similar bodies known at this region, but they are poor in radioelements what difficult the mapping of subtle differences in mineralogy.

Finally, the physical property contrast and geochemical characteristics of the plutonic bodies of the Mineiro Belt can be well related with isotopic and geological data acquired before this research. The data integration illustrates the generation of plutonic bodies with close spatial/temporal relationships and contrasting source regions.

# SUMÁRIO

<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
I.1 – INTRODUÇÃO.....	1
I.2 – OBJETIVOS.....	5
I.3 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA INVESTIGADA.....	5
I.4 – APLICAÇÃO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO.....	9
<b>CAPÍTULO II - SÍNTESE DO CONTEXTO GEOLÓGICO-REGIONAL. 12</b>	
II.1- GEOLOGIA DA BORDA MERIDIONAL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO.....	13
II.2 GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDO.....	17
II.2.1 Bloco Oeste.....	18
II.2.1.1 – Terrenos Granito-Gnáissicos.....	18
II.2.1.2 Complexo Charnokítico de Babilônia.....	18
II.2.1.3 Granito Bomsucesso.....	19
II.2.1.4. – Gnaisse Granítico da Capela São Francisco.....	19
II.2.1.5 – Maciço Ultramáfico do Morro das Almas.....	19
II.2.2 Bloco Leste.....	20
II.2.2.1 – Greenstone Belts.....	20
II.2.2.2 – Corpos Máficos a Ultramáficos Acamadados.....	20
II.2.2.3 – Corpos Plutônicos Paleoproterozóicos.....	21
II.2.2.4 – Sequências Metassedimentares.....	22
II.2.3 – SUPERGRUPO MINAS.....	22
II.2.4. – DIQUES MÁFICOS.....	23
<b>CAPÍTULO III - GERAÇÃO DE MAPAS LITOGEOFÍSICOS COMO INSTRUMENTO PARA A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA: O EXEMPLO DO CINTURÃO MINEIRO - MG.....</b>	<b>27</b>
III.1 – MATERIAIS.....	30
III.1.1 – Dados Aerogeofísicos.....	30
III.1.2 – Dados Cartográficos.....	31
III.1.3 – Dados Interferométricos SRTM.....	31
III.1.4 – Dados LANDSAT 7 -ETM+.....	33
III.1.5 - Dados Geológicos, Geoquímicos e Isotópicos.....	33
III.1.6 - Equipamentos.....	33
III.2 – MÉTODOS.....	35
III.3- REALCE E ANÁLISE DOS DADOS.....	37
III.3.1 – Vetorização e Integração dos Mapas Geológicos.....	63
III.3.2–Análise das imagens LANDSAT 7 -ETM+.....	63
III.3.3 – Análise dos Modelos Digitais de Elevação.....	69
III.4 – INTERPRETAÇÃO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS E GERAÇÃO DO MAPA LITOGEOFÍSICO EM AMBIENTE SIG.....	75
III.4.1 – Domínios Magnéticos e Estruturais.....	75
III.4.2 – Domínios Gamaespectrométricos.....	81

III.5 – CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA APLICADA AOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS.....	85
III.6 – CORRELAÇÕES DOS DOMÍNIOS LITOGEOFÍSICOS E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS REGIONAIS .....	92
III.6.1 - Domínio Geológico I.....	92
III.6.1 - Domínio Geológico II .....	93
III.6.2 – Domínios estruturais .....	95
III.7 – REDEFINIÇÃO DOS CORPOS BATOLÍTICOS SÃO TIAGO E RITÁPOLIS.....	105
III.8 – DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
<b>CAPÍTULO IV – INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTES APLICADOS AO CINTURÃO MINEIRO-MG: EXEMPLO DOS CORPOS PLUTÔNICOS RITÁPOLIS, CASSITERITA E MAUEL INÁCIO.....</b>	<b>113</b>
IV.1 MATERIAIS.....	117
IV.2 MÉTODOS.....	117
IV.3 RITÁPOLIS .....	119
IV.3.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS.....	119
IV.3.2 GEOQUÍMICA .....	121
IV.3.3 GEOCRONOLOGIA.....	123
IV.3.4 ASSINATURA GEOFÍSICA.....	123
IV.3.5 CORRELAÇÕES ENTRE A ASSINATURA GEOFÍSICA E OS DADOS PETROGRÁFICOS.....	129
IV.4 TRONDHJEMITO CASSITERITA .....	133
IV.4.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS.....	133
IV.4.2. GEOQUÍMICA .....	137
IV.4.3. GEOCRONOLOGIA.....	138
IV.4.4. ASSINATURA GEOFÍSICA.....	138
IV.4.5. CORRELAÇÕES DAS ASSINATURAS GAMAESPECTROMÉTRICAS, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA.....	143
IV.5 CORPO MANUEL INÁCIO .....	151
IV.5.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS.....	151
IV.5.2 ASSINATURA GEOFÍSICA.....	152
IV.5.3 GEOQUÍMICA .....	152
IV.5.4 GEOCRONOLOGIA.....	153
IV.5.5 CORRELAÇÕES DAS ASSINATURAS GAMAESPECTROMÉTRICAS, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA.....	153
IV.6 RESULTADOS E CORRELAÇÕES REGIONAIS .....	157
<b>V- CONCLUSÕES .....</b>	<b>165</b>
<b>VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>171</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura I.1** – Mapa geológico esquemático do extremo sul do Cráton do São Francisco, enfatizando a zona de influência do Evento Transamazônico (Cinturão Mineiro de Teixeira et al. 1996, expandido) e a respectiva plataforma (Alkmim 2004). ..... 3
- Figura I.2** – Mapa de localização da área investigada. O polígono maior representa a área de estudo e o amarelo a área piloto mapeada por Toledo (2002) e Ávila (2000). ..... 7
- Figura II.1** – Modelo das Províncias Crustais da Plataforma Sul Americana proposto por Cordani & Sato (1999). Crátons Amazônico (AM) e São Francisco (SF), Rio La Plata (RP), São Luiz (SL), Luiz Alves (LA) e Províncias Tocantins (T) e Mantiqueira (M), Bacia Amazônica, Bacia do Paraná e Bacia Parnaíba. .... 13
- Figura II.2** – Mapa Geológico esquemático da Porção Sul do Cráton São Francisco (Modificado de Teixeira et al. 2000), 1- granitos-gnaisses-migmatitos e granulitos. 2- Greenstone Belts; 3- Supergrupo Minas (Paleoproterozóico); 4-Supergrupo Espinhaço (Paleo a Mesoproterozóico); 5- Grupo Bambuí (Neoproterozóico); 6- Zonas de Cisalhamento/Faixas cisalhadas; 7-Faixas marginais (Araçuaí, Sul da Faixa Brasília e Nape de Passos) 8 – Falhas Maiores; 9-Limite do Cráton; 10-Foliação Gnáissica. Siglas: PI e RP, = Greenstone Belts Pimhuí e Rio Paraúna. Em vermelho a área do levantamento da COMIG em 2003 (atual CODEMIG), o polígono em cinza delimita a área de estudo. . 15
- Figura II.3** - Mapa geológico esquemático da borda meridional Cráton São Francisco, ilustrando as principais unidades geológicas do Cinturão Mineiro e adjacências, destacando o polígono da área de estudo (Modificado de Ávila, 2000). .... 25
- Figura III.1** - Mapa geológico esquemático da borda meridional Cráton São Francisco, ilustrando as principais unidades geológicas do Cinturão Mineiro e adjacências, destacando o polígono da área de estudo (Modificado de Ávila, 2000). .... 28
- Figura III.2**– Localização do levantamento aerogeofísico do Projeto Pitangui-São João Del Rei-Ipatinga (Área 02) (Modificado de Lasa, 2001). .... 31
- Figura III.3** Receptor GPS Pathfinder Pocket acoplado a um palmtop utilizado para o mapeamento geológico na área de estudo, onde foi acoplado parte do banco de dados gerado para área de estudo. Todos os pontos coletados foram analisados nas imagens derivados dos dados aerogeofísicos e no mapa litogeofísico em tempo real. .... 35

**Figura III.4** – Fluxograma ilustrando as principais etapas de realce e processamento dos dados magnéticos, bem como a extração dos domínios e estruturas magnéticas. **CMA** – Campo Magnético Anômalo, **ASA** – Amplitude do Sinal Analítico de ordem zero, **DX** – Primeira derivada Horizontal em X, **DY** – Primeira Derivada Horizontal em Y e **DZ** – Primeira Derivada Vertical e **GHT** – Gradiente horizontal total. **MDT - A** - Modelo Digital de Terreno gerado a partir dos dados aerogeofísicos, **MDT - SRTM** – Modelo Digital de Terreno gerado a partir dos dados do sensor SRTM..... 39

**Figura III.5** – Fluxograma exibindo as etapas de realce e interpretação dos domínios aerogamaespectrométricos; **K** – canal de potássio em percentagem; **eTh** – canal do equivalente de tório em ppm; **eU** – canal do equivalente de urânio em ppm; **eTh/K** – razão do equivalente de tório e potássio, **eU/K** – razão do equivalente de urânio e potássio, **eU/eTh** – razão do equivalente de urânio pelo equivalente de tório; **RGB** – composição ternária em falsa cor R (canal de K), G (canal de Tório), B (canal de Urânio); **CMY** – composição ternária em falsa cor CMY, C (canal de K), M (canal de Tório), Y (canal de Urânio); **MDT** – modelo digital de terreno da geofísica. **RGB + MDT** – Integração da composição ternária colorida em falsa cor RGB com o modelo digital de terreno da geofísica no canal de intensidade. **CMY + MDT** – Integração da composição ternária colorida em falsa cor CMY com o modelo digital de terreno da geofísica no canal de intensidade..... 41

**Figura III.6** – Mapa de Amplitude do Sinal Analítico de ordem zero (ASA). Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S..... 43

**Figura III.7** – Mapa da derivada vertical (DZ) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. .... 45

**Figura III.8** – Mapa da derivada horizontal (DY) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. .... 47

**Figura III.9** – Mapa da derivada horizontal (DX) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. .... 49

**Figura III.10** – Mapa ilustrando a composição ternária em falsa cor RBG (KeTheU) da área de estudo. Em A observa-se os corpos félsicos do Cinturão Mineiro, tais como, o granito Ritápolis e São Tiago. Em B, a expressão do Greenstone Barbacena (faixas Rio das

<i>Mortes e Nazareno). Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>51</i>
<b>Figura III.11</b> – <i>Mapa ilustrando a composição ternária em falsa cor CMY (KeTheU) da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>53</i>
<b>Figura III.12</b> – <i>Mapa do canal de contagem otal da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>55</i>
<b>Figura III.13</b> – <i>Mapa da razão dos canais de eU/K da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>57</i>
<b>Figura III.14</b> – <i>Mapa da razão dos canais de eU/eTh da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>59</i>
<b>Figura III.15</b> – <i>Mapa da razão dos canais de eTh/K da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>61</i>
<b>Figura III.16</b> – <i>Fluxograma indicando as principais etapas para vetorização e integração dos mapas geológicos de Ávila (2000) e Toledo (2002). .....</i>	<i>63</i>
<b>Figurura III.17</b> – <i>Expressão dos lineamentos interpretados na imagem Landsat (Composição colorida RGBi 321 i= Modelo digital de terreno) sensor ETM+/Landsat 7- Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23S. ....</i>	<i>67</i>
<b>Figura III.18</b> – <i>Expressão dos lineamentos extraídos a partir Modelo digital de terreno gerado no aerolevanteamento do Projeto Pitangui- São João Del Rei-Ipatinga: Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m. Sombreamento: azimute de iluminação de 45° e elevação de 45°. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. ....</i>	<i>71</i>
<b>Figura III.19</b> – <i>Expressão dos lineamentos extraídos a partir do Modelo digital de terreno SRTM: Resolução espacial 90 m x 90 m. Sombreamento: azimute de iluminação de 45° e elevação de 45°. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. ....</i>	<i>73</i>
<b>Figura III.20</b> – <i>O mapa apresenta os domínios magnéticos e estruturais interpretados a partir dos produtos derivados dos dados aerogeofísicos. Os domínios e estruturas foram interpretados baseados nos princípios de interpretação propostas por Isles et al. (1994). Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. ....</i>	<i>79</i>
<b>Figura III.21</b> – <i>Mapa ilustrando os domínios gamaespectrométricos baseados na interpretação visual de imagens gamaespectrométricas levando-se em conta a variação dos</i>	

<i>teores de K, eTh e eU, dividida em três categorias em: baixo, médio e alto. Foram mapeadas 23 unidades gamaespectrométricas representadas através das 23 classes que mostram a variação dos teores dos radioelementos K, eTh e eU na área estudada. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S. ....</i>	<i>83</i>
<b>Figura III.22</b> – <i>Gráfico de distribuição de K, eTh e eU das vinte e duas classes resultantes da aplicação do algoritmo de classificação não supervisionada ISODATA. ....</i>	<i>87</i>
<b>Figura III.23</b> – <i>Mapa de reclassificação da classificação não supervisionada utilizando o algoritmo ISODATA, aplicado aos dados gamaespectrométricos (RGB KThU). Observa-se os principais litotipos mapeados, dentre eles os corpos plutônicos félsicos (A), máficos a ultramáficos (B), bem como as faixas do tipo greenstone belts Nazareno (N) e Rio das Mortes (RM). Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.....</i>	<i>89</i>
<b>Figura III.24</b> – <i>Mapa de localização dos pontos descritos em trabalho de campo. Em cada ponto, foram descritas as anomalias aerogeofísicas, bem como o tipo de rocha aflorante; .....</i>	<i>99</i>
<b>Figura III.25</b> – <i>Prancha de fotos ilustrando os pontos mapeados na região do Núcleo Arqueano. A - dique máfico cortando um metagranito. B – bloco de diques máfico, mostrando o aspecto comum de ocorrência destes corpos; C - Serra de Bomsucesso. D- granito fortemente foliado.....</i>	<i>101</i>
<b>Figura III.26</b> – <i>Prancha de fotos ilustrando unidades na região do Cinturão Mineiro. Na foto (A) cristas de xistos ultramáficos da Faixa Nazareno. Em (B) afloramento do Tonalito Tabuões. Na foto (C ) formas de ocorrência em blocos do Corpo Ritápolis e na foto (D) Granitóide Itutinga.....</i>	<i>103</i>
<b>Figura III.27</b> – <i>Formas de ocorrência do Batólito São Tiago. Diferentemente do Ritápolis, as rochas deste corpo são intensamente deformadas.....</i>	<i>107</i>
<b>Figura III.28</b> - <i>Expressão das principais feições magnéticas e gamaespectrométricas. Em A, as estruturais mais proeminentes identificadas nos dados magnéticos (Derivada vertical), A1 - Serra de Bomsucesso; A.2 estrutura dúctil abaixo da Serra de S. José em Tiradentes. A.3 O Enxame de diques que corta todas as rochas da Porção Sul do Cráton S. Francisco. Na figura B os dados gamaespectrométricos exibem claramente a distinção dos corpos do Cinturão Mineiro. Em B.1 observa-se o limite e distribuição dos corpos São Tiago e Ritápolis.....</i>	<i>111</i>

<b>Figura IV.1-</b> Mapa geológico da região de Nazareno e adjacências gerado neste trabalho. As elipses com os números indicam os corpos a serem abordados neste capítulo. 1) Granito Ritápolis; 2) Trondhemito Cassiterita; 3) Manuel Inácio.....	115
<b>Figura IV.2 –</b> Formas de ocorrência do Granito Ritápolis (Ponto AC 29). .....	121
<b>Figura IV. 3 –</b> Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos no Granito Ritápolis através da classificação não supervisionada ISODATA .....	125
<b>Figura IV.4 –</b> Em A –Detalhe do Granito Ritápolis no mapa geológico integrado do Cinturão Mineiro e adjacências; na figura B composição colorida em falsa cor RGB (K, eTh, eU), em C o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.....	127
<b>Figura IV.5–</b> Detalhe da integração da área mapeada por Toledo (2002) e Ávila (2000), bem como os pontos de amostragem do corpo Ritápolis de Ávila (2000) e Noce et al (2000). Observar as redefinições dos corpos Ritápolis e Cassiterita proposta neste trabalho. ....	131
<b>Figura IV.6–</b> (A) Contato entre o trondhemito Cassiterita (a direita) e os xistos máficos pertencentes à Faixa Rio das Mortes (a esquerda). No contato, os dois litotipos estão muito deformados e são observados xenólitos estirados de xisto máfico no domínio do granito. (B) Xenólito de metagabro cisalhado pertencente ao Corpo Manuel Inácio, envolto pelo granito Cassiterita, próximo do contato entre essas unidades.....	135
<b>Figura IV.7–</b> Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Streckeisen (1967), exibindo a caracterização petrográfica das rochas do Trondhemito Cassiterita. (extraído de Ávila 2000).....	135
<b>Figura IV.8 –</b> Diagrama discriminante de elementos terras raras do Trondhemito Cassiterita normalizado para valores do condrito proposto por Nakamura (1974) (extraído de Ávila 2000).....	137
<b>Figura IV. 9 –</b> Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos no corpo Cassiterita.....	139
<b>Figura IV. 10 –</b> Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos em porções isoladas no Trondhemito Cassiterita. ....	141



<b>Figura IV. 11</b> – Em A - detalhe do Trondhjemito Cassiterita; Em B observa-se a composição colorida em falsa cor RGB (K, eTh, eU) e em C, o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.....	145
<b>Figura IV. 12</b> – Dados de SiO <sub>2</sub> (Ávila 2000) interpolados utilizando o algoritmo mínima curvatura. Observar os valores mais baixos de sílica demarcando a zona de atuação do metassomatismo potássico descrito por Ávila (2000). .....	147
<b>Figura IV. 13</b> – Dados de K <sub>2</sub> O (Ávila 2000) interpolados utilizando o algoritmo mínima curvatura. Observar os valores mais altos de potássio demarcando a zona de atuação do metassomatismo potássico descrito por Ávila (2000). .....	149
<b>Figura IV.14</b> – Em A –detalhe do corpo Manuele Inácio no mapa geológico integrado gerado neste trabalho; Em B observa-se a composição colorida em falsa cor RGB – R( canal de K), G (Canal de eTh) e B (Canal do eU) e em C, o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.O círculo em preto destaca o Corpo Manuel Inácio. ....	155
<b>Figura IV.15</b> – Visão em perspectiva da composição ternária RGB, ilustrando os corpos com mesma assinatura gamaespectrométrica e descritos na literatura como oriundos de fontes crustais arqueanas. ....	159
<b>Figura IV.16</b> – Visão em perspectiva da composição ternária RGB, ilustrando os corpos com mesma assinatura geofísica, descritos na literatura como provenientes de fontes juvenis paleoproterozóicas. ....	161

## ÍNDICE DE TABELAS

**Tabela II.1** – Dados isotópicos dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro. 24

**Tabela III.1** – Média da distribuição de K, eTh e eU das vinte e duas classes resultantes da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada ISODATA. 86

**Tabela III.2** – A tabela compara os resultados obtidos na reclassificação ISODATA, classificação do habitat digitizer e correlação com as unidades litoestratigráficas: 1- Toledo (2002); 2- Valença et al. (2000); 3 – Quéméneur (1989); 4- Ávila (2000); 5 – Chermam (2004) e 6 - Ribeiro et al. (1995). 91

**Tabela IV.1** Dados geocronológicos do Granito Ritápolis obtidos na literatura e sumarizadas para este trabalho.123

**Tabela IV.2** Estatística das classes interpretadas como variações internas dos radioelementos no corpo Ritápolis. 125

**Tabela IV.3** – Dados geocronológicos do Trondhjemito Cassiterita sumarizados para este trabalho. 138

*Tabela IV.5* Distribuição das classes interpretadas como variações internas dos radioelementos no Trondjhemito Cassiterita.

*Tabela IV.6* – Teores de U, Th e razões Th/U em minerais de rochas ígneas (Harmon & Rosholt 1982). 158

## ANEXOS

**ANEXO I** – Mapa geológico do Cinturão Mineiro e adjacências.

## CAPITULO I

---

### I.1 – INTRODUÇÃO

O Cinturão Mineiro (CM) é um importante segmento crustal de origem Paleoproterozóica marcando a complexa história evolutiva da porção meridional do Cráton São Francisco (CSF), durante o Ciclo Transamazônico (2.2-1.8 Ga). Várias considerações a respeito de sua origem e distribuição tem sido tecidas, onde ressaltam-se duas propostas que sintetizam o seu estado da arte. A primeira descrita por Teixeira & Figueiredo (1991) e Teixeira *et al* (2000), define o Cinturão Mineiro como uma pequena faixa de corpos de idade transamazônica, situada no extremo sul do CSF. A segunda, de Alkmim (2004), o caracteriza como toda a porção do embasamento exposto ao sul do Cráton São Francisco, que experimentou a deformação e ação termal no decorrer do Evento Transamazônico (Figura I.1). Neste trabalho, para facilitar o seu estudo e compreensão, optou-se pelo conceito de Teixeira & Figueiredo (1991) e Teixeira *et al* (2000).

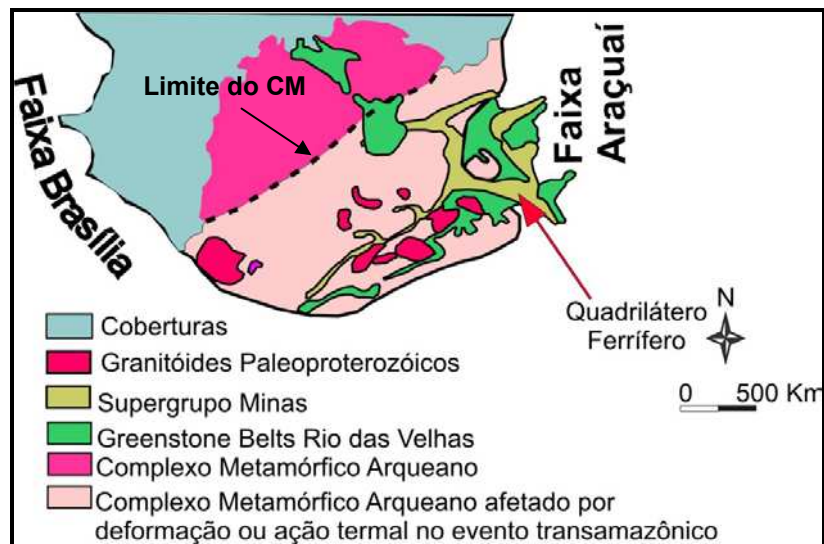
Trabalhos de abordagem regional (Teixeira 1985, Noce *et al.* 2000, Silva *et al.* 2002, Alkmim 2004, entre outros) e de cartografia geológica sistemática (Ávila 2000, Toledo 2002 e Chermam 2004) contribuíram para a compreensão deste segmento, no entanto muitas questões permanecem ainda em aberto. A confecção de mapas integrados do Cinturão Mineiro apenas com métodos tradicionais de mapeamento geológico é complicado, pois, a ausência de unidades aflorantes e o espesso manto regolítico dificultam a sua elaboração. Neste contexto, técnicas modernas para mapeamento geológico (Jaques 1993, Jaques *et al.* 1997 e Isles *et al.* 1989) serão aplicadas na área de estudo utilizando-se dados multifonte.

A área de estudo (Figura I.2) engloba uma pequena parte do Cinturão Mineiro, incluindo as áreas mapeadas em escala 1:50.000 na região de São João Del Rei-MG (Ávila 2000) e Nazareno (Toledo 2002). Os mapeamentos citados foram realizados em áreas contíguas, cujos resultados forneceram dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos para grande parte dos corpos plutônicos que ocorrem entre os municípios de Nazareno e São João Del Rei. Sobrepondo e confrontando os produtos geofísicos com os dados geológicos disponíveis para esta região, observou-se uma expressiva correspondência entre estas informações. Pôde-se constatar, por exemplo, as diferenças químicas entre os plútons



são bem caracterizadas na gamaespectrometria, bem como a forte estruturação tectônica regional a eles imposta, ressaltadas nas imagens derivadas dos dados aeromagnéticos.

Neste contexto, foi proposto dois estudos de caso. O primeiro é uma a integração de dados, técnicas de realce, interpretação de dados multi-fontes e validação de mapas preliminares em trabalhos de campo. O segundo estudo de caso, consiste na integração de dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos obtidos por Ávila (2000), Toledo (2002) e Noce *et al.* (2000) e sua correlação com as assinaturas gamaespectrométricas que recobrem os corpos plutônicos mapeados na área de estudo.



**Figura I.1** –Mapa geológico esquemático do extremo sul do Cráton do São Francisco, enfatizando a zona de influência do Evento Transamazônico (Cinturão Mineiro de Teixeira *et al.* 1996, expandido) e a respectiva plataforma (Alkmim 2004).



## **I.2 – OBJETIVOS**

O trabalho em questão tem como objetivo principal a caracterização da assinatura geofísica dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro, através da utilização de dados aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos e sua integração com dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos.

Para tanto, traçou-se os seguintes objetivos específicos:

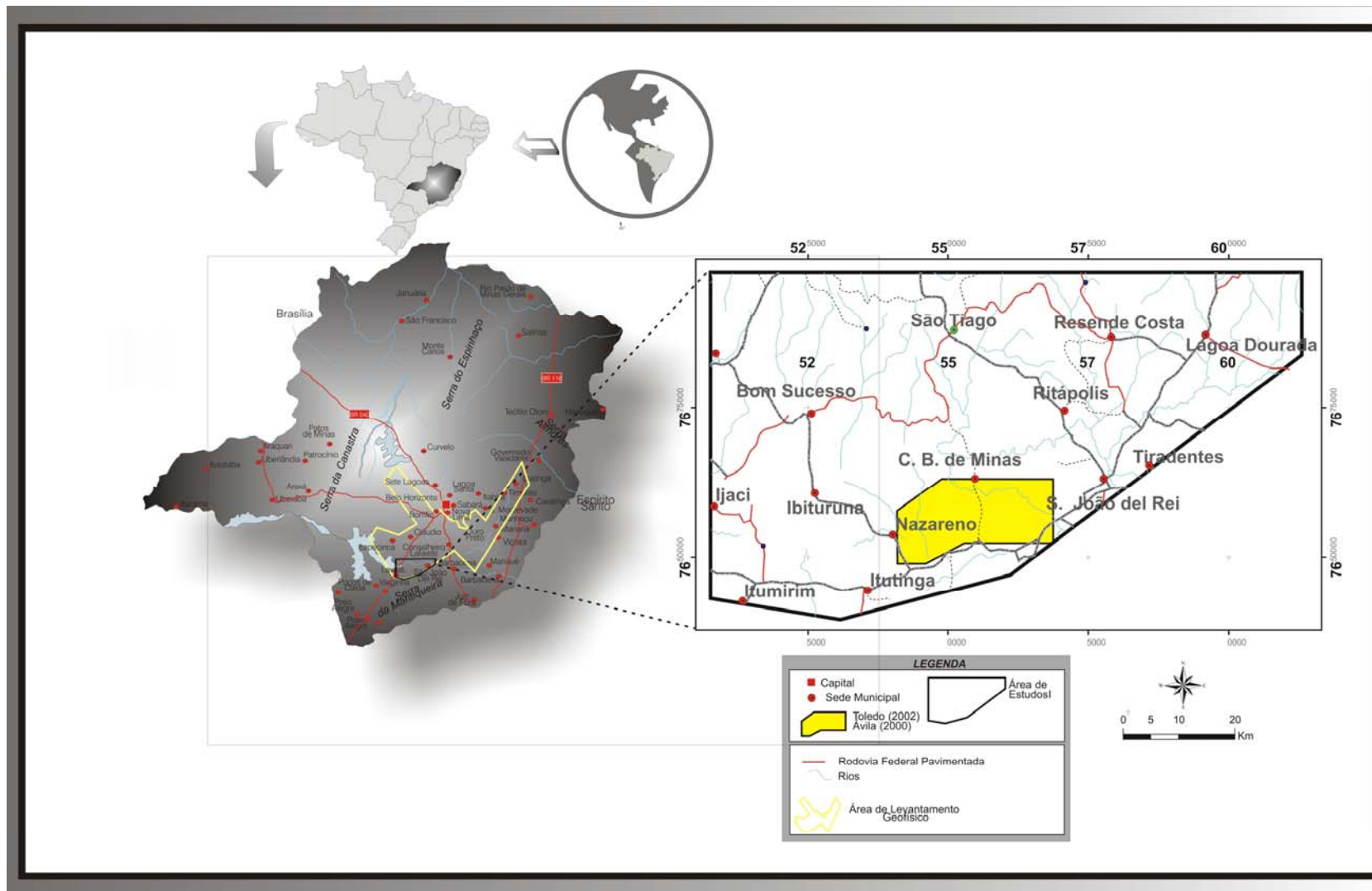
- (1) geração de produtos derivados de dados aerogeofísicos para a interpretação e elaboração de mapas litogeofísicos;
- (2) validação em trabalho de campo, bem como sua integração com dados geológicos e confecção de um mapa geológico na escala 1:100.000;
- (3) análise espacial utilizando dados multifonte (aerogeofísicos, geológicos, geocronológicos e geoquímicos) com o intuito de mapear as variações presentes em corpos plutônicos do Cinturão Mineiro;
- (4) redefinição dos limites dos corpos plutônicos a partir da comparação de assinaturas gamaespectrométricas e dados geológicos.

## **I.3 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA INVESTIGADA**

A área de estudo localiza-se no extremo sul do estado de Minas Gerais, perfazendo 4.620 Km<sup>2</sup> e compreende as cidades de Itutinga (sudoeste), Bomsucesso (norte) e Tiradentes (sudeste) (Figura I.2). O acesso às áreas é feito através da rodovia Fernão Dias (BR-381), que liga São Paulo a Belo Horizonte, até a cidade de Lavras-MG.







**Figura I.2** – Mapa de localização da área investigada. O polígono maior representa a área de estudo e o amarelo a área piloto mapeada por Toledo (2002) e Ávila (2000).



## **I.4 – APLICAÇÃO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO**

Nas últimas décadas, o mapeamento geológico agregou uma série de técnicas modernas (Jaques 1993, Jaques *et al.* 1997 e Isles *et al.* 1989), que compreendem tanto a utilização de imagens de sensores remotos orbitais como aéreos, quanto a Cartografia Digital, os Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG) e a Geoestatística. A aerogeofísica, em especial a magnetometria e gamaespectrometria, reúne-se a este vasto grupo de ciências e tecnologias e com elas compõe uma linha de pesquisa denominada “*Geotecnologias*” (Souza Filho & Crósta 2003).

As facilidades na geração de produtos para o entendimento geológico em escalas regionais a partir dos levantamentos aerotransportados, aliado aos baixos custos operacionais, justificam o grande avanço e aprimoramento dos instrumentos geofísicos aéreos. Essas técnicas são utilizadas no Brasil (CPRM, CODEMIG, CBPM, entre outros) e no mundo (serviços geológicos do Canadá, Austrália e EUA entre outros), para vários fins no mapeamento geológico, e constitui hoje, o ferramental básico na elaboração de grandes projetos voltados à exploração mineral.

As primeiras utilizações da gamaespectrometria datam da segunda guerra mundial (1939-1945), quando a busca por materiais radioativos promoveu no cenário tecnológico um salto de qualidade em nome dos interesses bélicos. A aerogamaespectrometria, até então utilizada com equipamentos rudimentares, como a “Pedra (*counter*) *Geiger*” adaptada para o uso em campo em 1930, é substituída por instrumentos capazes de medir 256 canais, como é o caso do sofisticado contador *Geiger* (Darnley 1991), até hoje utilizado. Contudo, somente 50 anos após a descoberta da radioatividade natural por Becquerel em 1896, a gamaespectrometria é utilizada para mapeamento de materiais não radioativos.

A magnetometria, diferentemente da radiometria, foi um dos primeiros métodos geofísicos a serem utilizados por chineses, mesmo antes de Cristo, ao correlacionar a Terra como um grande imã. Entretanto, só recebe cunho científico em 1600, por William Gilbert. Mais tarde, em 1640, este método é empregado na prospecção de depósitos de ferro na Suécia. Em 1870, os instrumentos geofísicos, além de medir a variação da declinação e do

campo magnético em sua direção principal, permite medi-la também em suas componentes horizontal e vertical (Luiz & Costa Silva 1995). Hoje, os instrumentos capazes de estudar o caráter magnético das rochas são denominados de magnetômetros e são largamente usados em prospecção geofísica.

O Canadá, na perspectiva da economia mineral, é um país que se destaca entre as nações com as maiores reservas mundiais de minério de ferro, níquel, ouro, urânio e potássio. Seus grandes avanços na prospecção mineral justifica-se pelos incentivos governamentais através da pesquisa (Milioli 1999). Dentre as estratégias para a exploração mineral, a aerogeofísica assume um papel muito importante. Shives *et al.* (1997) descrevem casos históricos de descoberta de diversos tipos de jazidas no Canadá, associados à alteração potássica, com auxílio da gamaespectrometria. Destaca-se entre esses depósitos, *Pilley's Island* (depósito do tipo VMS de Cu-Pb e Zn), *Newfoundland* (polimetálico hidrotermal Au-Co-Cu-Bi-W) e *Lou Lake* - Territórios do Norte (Cu-Au Mo pórfiro).

A Austrália, do mesmo modo que o Canadá, representada pela AGSO (Organização de Pesquisa Geológica da Austrália) é um exemplo no que tange à aerogeofísica. O trabalho de Jaques *et al.* (1997) relata a evolução no quadro econômico mineral após a inclusão dos levantamentos aerogeofísicos nos projetos de pesquisa, contabilizando em quatro décadas a descoberta de mais de 100 depósitos minerais, destacando-se entre eles *Kambalda* (níquel), *Rivers* (urânio), *Olympic Dan* (Cu-Au-U), *Argyle* (diamante) e *Century* (zinco). Além das aplicações para a metalogênese, enfatizam o progresso no campo da evolução crustal, com a identificação das feições tectônicas das diferentes províncias geológicas e de todo o embasamento continental da Austrália.

Os levantamentos aéreos da AGSO abordam os métodos gravimétrico e magnetométrico na identificação de feições estruturais, a radiometria (K, eTh e eU) é utilizada para o mapeamento litológico. Este Serviço Geológico desenvolveu técnicas para confecção de mapas temáticos, a partir do adensamento das linhas de vôo e da integração de dados aerogeofísicos e de sensores remoto, à bases cartográficas pré-existentes, bem como análises isotópicas e petrográficas. Esse conjunto de técnicas influenciou diretamente no mapeamento litológico e estrutural de áreas com espessos mantos regolíticos, cujo conhecimento era nulo ou muito escasso. A utilização de todas essas ferramentas, somada

aos estudos geológicos tradicionais, resultou na identificação de faixas de *greenstone belts* arqueanas, terrenos proterozóicos e faixas de dobramentos paleozóicas.

No Brasil, os maiores avanços se deram após a realização do Projeto Geofísico Brasil - Canadá (PGBC), na década de 70 com a cobertura aerogeofísica de grande parte do território pré-cambriano brasileiro. Tal projeto consistiu no levantamento geofísico utilizando os métodos magnético e gamaespectrométrico, realizado em duas etapas, uma de caracterização regional e outra de semi-detalle (Carmo 1978). Após a disponibilização destes dados, vários trabalhos de cunho científico foram realizados.

Embora as geotecnologias sejam utilizadas vastamente para as mais diversas aplicações, no Brasil essas ferramentas nem sempre funcionam de forma efetiva devido às condições de clima tropical (Silva *et al.* 1999, Silva *et al.* 2003). Neste intuito, surge a idéia da aplicação de dados multifontes a cartografia geológica no Cinturão Mineiro e sua integração com dados geológicos disponíveis. Os resultados desta integração serão apresentados nos próximos capítulos.

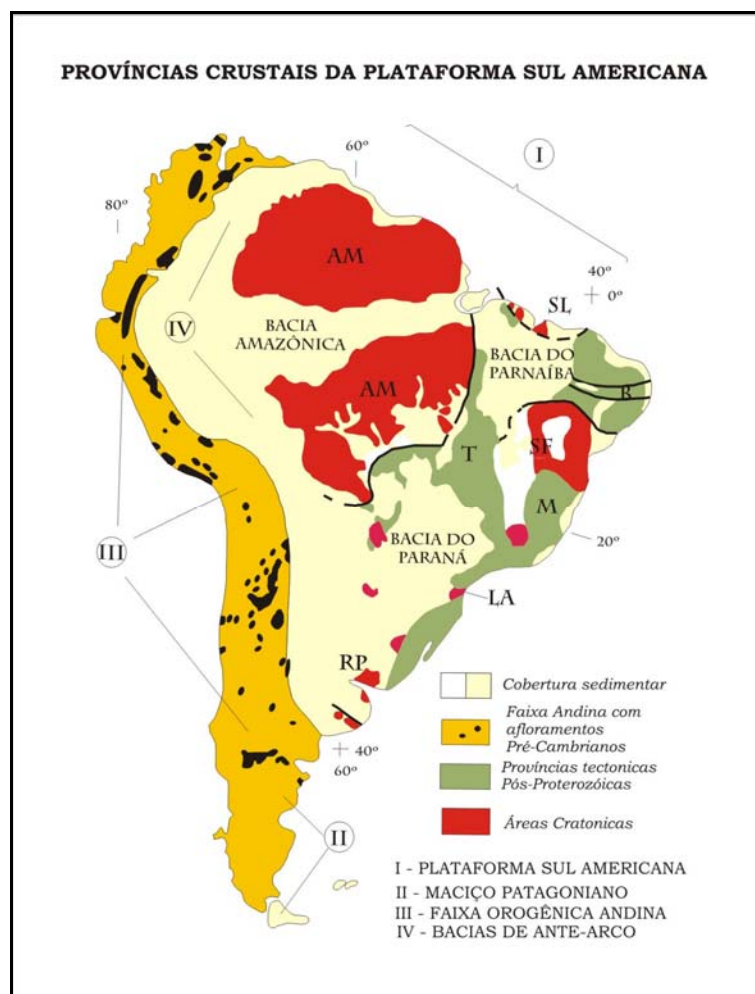
## CAPÍTULO II - SÍNTESE DO CONTEXTO GEOLÓGICO-REGIONAL

---

O continente sul-americano é constituído por três grandes domínios tectônicos, denominados por Almeida *et al.* (1977) de Plataforma Sul-Americana, Plataforma Patagônica e Faixa de Dobramentos Andina. O Brasil está inserido na Plataforma Sul-Americana, cujo embasamento, apresenta uma história evolutiva muito complexa. A este domínio tectônico é aferida a influência ou participação de diversos ciclos orogênicos, alguns de importância continental, outros apenas de participação local. Dentre estes ciclos pode-se destacar: Jequié ou Aroense (2600-2700 Ma), Transamazônico (1.8 a 2.2 Ga) e Brasileiro (450-700 Ma). Os de origens mais locais são referidos os ciclos Espinhaço (1000-1300 Ma) e Uruaçuano ( $\pm$  1150 Ma), no escudo Atlântico, e os eventos Uatumã (1700-1900 Ma), Paraguazense (1500-1600 Ma) e Rondoniense (1000-1300 Ma) nos escudos Guianense e Brasil-Central (Shobbenhaus *et al.* 1984).

Compondo a Plataforma Sul-Americana (Figura II.1), encontram-se os crátons: Amazônico (AM), São Francisco (SF), o Rio La Plata (RP), São Luiz (SL) e Luiz Alves (LA) e outros fragmentos cratônicos. Associados aos crátons, estão as faixas móveis resultantes do ciclo Brasileiro-Pan Africano: as faixas Paraguai-Araguaia e Tocantins margeando o Cráton Amazônico; as faixas Brasília e Araçuaí, envolvendo o Cráton São Francisco e a Faixa Dom Feliciano, limitando os cráton menores Rio de La Plata e Luiz Alves, entre outros fragmentos menores. Recobrimdo o embasamento encontram-se as bacias Amazônica, Paraná e Parnaíba (Cordani & Sato 1999)

A região abordada neste trabalho encontra-se contextualizada no extremo sul do Cráton São Francisco (CSF).



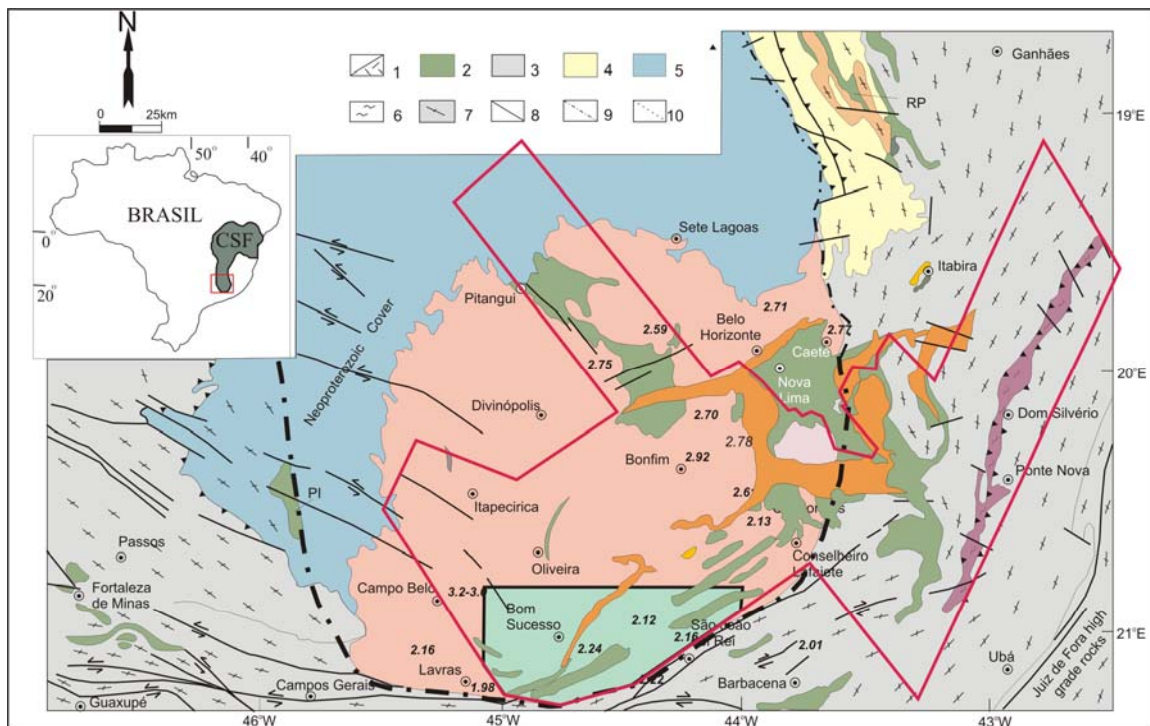
**Figura II.1** – Modelo das Províncias Crustais da Plataforma Sul Americana proposto por Cordani & Sato (1999). Crátons Amazônico (AM) e São Francisco (SF), Rio La Plata (RP), São Luiz (SL), Luiz Alves (LA) e Províncias Tocantins (T) e Mantiqueira (M), Bacia Amazônica, Bacia do Paraná e Bacia Parnaíba.

## II.1- GEOLOGIA DA BORDA MERIDIONAL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO

A porção meridional do Crátón São Francisco é composta, em síntese (Figura II.2), por unidades arqueanas gnáissicas parcialmente migmatizadas, granitos e por resquícios de sucessões de *greenstone belts*. Além destas unidades, ocorrem os corpos paleoproterozóicos e as rochas proterozóicas representadas pelas coberturas meta-sedimentares do Supergrupo Minas (Paleoproterozóico), o Supergrupo Espinhaço (Paleo/Mesoproterozóico) e pelas coberturas plataformais do Grupo Bambuí (Neoproterozóico).







**Figura II.2** – Mapa Geológico esquemático da Porção Sul do Cráton São Francisco (Modificado de Teixeira *et al.* 2000), 1- granitos-gnaisses-migmatitos e granulitos. 2-Greenstone Belts; 3-Supergrupo Minas (Paleoproterozóico); 4-Supergrupo Espinhaço (Paleo a Mesoproterozóico); 5-Grupo Bambuí (Neoproterozóico); 6- Zonas de Cisalhamento/Faixas cisalhadas; 7-Faixas marginais (Araçuaí, Sul da Faixa Brasília e Nape de Passos) 8 – Falhas Maiores; 9-Limite do Cráton; 10-Foliação Gnáissica. Siglas: PI e RP, = *Greenstone Belts* Pimhuí e Rio Paraúna. Em vermelho a área do levantamento da COMIG em 2003 (atual CODEMIG), o polígono em cinza delimita a área de estudo.

Os terrenos granito-gnáissicos, também nomeados de “Complexos Metamórficos”, são reconhecidos desde Barbosa (1954) como pertencentes à Série Mantiqueira. Recebendo inúmeras denominações ao longo das décadas seguintes, estes litotipos são hoje individualizados como complexos Belo Horizonte, situado à norte do Quadrilátero Ferrífero; Caeté a nordeste, Bação ao centro, Bonfim a oeste; Campo Belo a sul e Passa Tempo (Figura II.2). Esses complexos possuem idades arqueanas, em torno de 3.3 a 2.8 Ga (Machado & Carneiro 1992).

Os xisto verdes existentes na região foram inicialmente descritos como “Série Barbacena” por Barbosa (1954) e receberam deste então várias denominações destacando-se a Série Rio das Velhas, proposto por Dorr *et al.* (1957), posteriormente interpretada como uma seqüência do tipo *greenstone belt* (Pires 1978). Vários fragmentos de sucessões supracrustais situados na porção sul do CSF também apresentam conjuntos litológicos



semelhantes à Série Rio das Velhas, a saber: Fortaleza de Minas, Piumhi, Congonhas e Rio Paraúna (Figura II.2), e são interpretados como resquício de *greenstone belts* (Teixeira *et al.* 2000). Algumas destas seqüências são comprovadamente arqueanas, como é o caso do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, onde zircões de rochas vulcânicas félsicas forneceram idades U/Pb em torno de 2,77Ga (Machado *et al.* 1989, 1992) e o *Greenstone Belt* Piumhi, cujo magmatismo foi datado em torno de 3,1Ga (Machado & Schrank 1989)

O Supergrupo Minas é uma seqüência de margem passiva, constituída pelos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr 1969). A idade mínima para deposição destas rochas é dada pelos dolomitos estromatolíticos da Formação Gandarela datadas em  $2.42 \pm 0.019$  Ga (método Pb/Pb) (Babinski *et al.* 1995).

O Supergrupo Espinhaço é caracterizado como preenchimento dos ramos de um sistema ensialico de rifts, desenvolvido no Neoproterozóico. Sua estratigrafia é composta, da base para o topo, segundo Martins-Neto (1993), pelas formações Bandeirinha, São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel.

O Grupo Bambuí é composto pelo Supergrupo Paraopeba que se subdivide nas formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, o topo do Grupo Bambuí é representado pela Formação Três Marias (Dardenne 1978).

Os corpos paleoproterozóicos que compõem o Cinturão Mineiro e são o enfoque central destas pesquisa, bem como o magmatismo básico serão apresentados nos tópicos a seguir.

## II.2 GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDO

Na área de estudo afloram os terrenos granito-gnáissicos Arqueano-Paleoproterozóicos, seqüências supracrustais do tipo *greenstone belt*, seqüências metassedimentares paleo a neoproterozóicas e diques máficos (Figura II.3).

A zona de cisalhamento da Serra de Bom Sucesso (SBS) divide o embasamento Arqueano-Paleoproterozóico em dois blocos (Quéméneur *et al.* 2003). O bloco oeste representa os complexos metamórficos e corpos graníticos situados a norte e noroeste da Serra de Bom Sucesso; ainda na porção sul deste compartimento afloram as rochas metassedimentares da Bacia Carandaí. O bloco situado a sudeste/leste da zona de

cisalhamento Bomsucesso é constituído pelas faixas *greenstone belts* e pelos corpos plutônicos Paleoproterozóicos nela intrusivos. Além destas unidades, afloram a sul e sudeste as rochas metassedimentares proterozóicas das Bacias São João Del Rei, Carandaí e Andrelândia.

Silva *et al.* (2003), baseados em dados aerogeofísicos de alta resolução, mostrou a distinção desses blocos, denominando-os “Núcleo Arqueano” e Cinturão Mineiro. A região é cortada por pelo menos duas gerações de enxames de dique gerados no Neoarquaeano e no Paleoproterozóico (Pinese 1997).

A seguir serão descritas as principais unidades geológicas que compõem os blocos oeste e leste.

### **II.2.1 Bloco Oeste**

Este bloco engloba as seguintes unidades: terrenos granito-gnáissicos, complexo charnokítico Babilônia, Granito Bomsucesso, Gnaiss Granítico da Capela São Francisco, Maciço Ultramáfico do Morro das Almas e as rochas metassedimentares da Bacia Carandaí (Quéméneur *et al.* 2003).

#### **II 2.1.1 – Terrenos Granito-Gnáissicos**

Esta unidade ocorre a norte e noroeste da Serra de Bomsucesso e é composta por uma trama de gnaisses TTG (trondjhemito, tonalitos e granitos), cortados pelos seguintes corpos intrusivos: Complexo charnockítico de Babilônia, Granito de Bomsucesso, Gnaiss granítico da Capela São Francisco e Maciço Ultramáfico do Morro das Alma (Quéméneur *et al.* 2003).

#### **II.2.1.2 Complexo Charnokítico de Babilônia**

Este complexo é constituído de charnockitos, monzonitos, enderbitos e rochas máficas (Quéméneur *et al.* 2003). Os charnockitos afloram na região de Babilônia, em faixas alongadas segundo a direção E-W, formando, a sul, um corpo elipsoidal cortado pelo Rio Grande. Esses charnockitos são quase isotrópicos ou gnáissicos. Mineralogicamente são constituídos por 30 a 35% de feldspato potássico (ortoclásio perfitico e microclina), 20 a 25% de ortoclásio com textura antiperfitica, 2 a 5% de biotita titanífera e 2 a 8% de

hiperstênio. A idade do Complexo Charnockito de Babilônia, obtida pelo método Pb-Pb por evaporação de zircão, é de c.a. 2.730 Ma.

Os enderbitos possuem textura ígnea preservada, mas geralmente estão gnaissificados. Associados aos charnokitos e enderbitos ocorrem rochas máficas de composição predominantemente gabróica, na forma de enclaves ou *schlieren*.

### **II.2.1.3 Granito Bomsucesso**

O Granito Bomsucesso forma um maciço elíptico (Quéméneur 1989), próximo a Serra de Bomsucesso. Trata-se de uma rocha mesocrática de cor cinza azulada, exibindo orientação mineral incipiente de direção EW. A idade da intrusão do Granito de Bomsucesso é dada por uma isócrona Rb-Sr de ca. 2.708 Ma (Quéméneur *et al.* 2003).

Campos & Carneiro (2005) apresentam dados U/Pb de  $2.753 \pm 11/9,5$  Ma, muito próximo àqueles datado por Quéméneur *et al.* (2003), inserindo o Granito de Bomsucesso numa suíte Neoarqueana denominada de Suíte Ígnea Samambaia – Bomsucesso.

### **II.2.1.4. – Gnaisse Granítico da Capela São Francisco**

Este corpo gnáissico forma uma faixa estreita orientada segundo a direção E-W, entre a Serra de Bomssucesso e a Fazenda São Sebastião. O gnaisse é leucocrático de textura porfirítica, com porfiroblastos de feldspato potássico (Quéméneur *et al.* 2003).

### **II.2.1.5 – Maciço Ultramáfico do Morro das Almas**

Este maciço está localizado na borda oeste da Serra de Bomsucesso (SBS). A borda oriental deste corpo foi envolvida na zona de cisalhamento da SBS e apresenta xistosidade paralela a deformação da serra. Junto a esta borda, observa-se uma lente tectônica de uma rocha fortemente milonitizada de composição granítica. As rochas do maciço são principalmente formadas por serpentina com raros vestígios de olivina. (Quéméneur *et al.* 2003).

## **II.2.2 Bloco Leste**

Neste compartimento estão inclusos as seqüências do tipo *greenstone-belts*, corpos plutônicos paleoproterozóicos e as rochas supracrustais proterozóicas, descritas abaixo.

### **II.2.2.1 – *Greenstone Belts***

As faixas de *greenstone belts* que ocorrem na área de estudo já receberam outras denominações além daquelas citadas no item II.2. Teixeira (1992) as denomina de “*Greenstone Belts* Itumirim-Nazareno”, enquanto Valença *et al.* (1998) de *Greenstone Belt* Itumirim-Tiradentes. Ávila (2000) caracteriza estas faixas como Sucessão de *Greenstone Belts* I e II; contudo as denominações utilizadas neste trabalho serão as definidas por Toledo (2002), a saber: Faixa Rio das Mortes e Faixa Nazareno.

A Faixa Nazareno neste trabalho se estende cerca de 83 km na direção NE-SW, da região de Nazareno às proximidades de Lagoa Dourada. Segundo Toledo (2002), essa faixa na região de Nazareno é composta predominantemente por rochas metavulcânicas de filiação komatiítica, com raras intercalações de camadas de gonditos, *chert* e anfíbolitos finos.

A Faixa Rio das Mortes está localizada a norte da Faixa Nazareno, seguindo por 50 km um *trend* na direção NE-SW. Segundo Toledo (2002), nesta faixa não ocorrem rochas komatiíticas. Na porção leste, predominam rochas metamáficas de filiação toleítica (metabasaltos e anfíbolitos) com intercalações de rochas metassedimentares, que passam a ser predominantes na porção oeste da faixa. A origem destas rochas ainda é polêmica. Elas foram caracterizadas inicialmente como seqüências arqueanas, devido a inexistência de dados geocronológicos. Toledo (2002) datou um anfíbolito pertencente à Faixa Rio das Mortes e obteve idade de metamorfismo de  $2.271 \pm 70$  Ma (Sm/Nd rocha total). Cabe ressaltar que Toledo (2002) aventa a possibilidade de estas faixas serem de idade paleoproterozóicas.

Teixeira *et al.* (2005), baseado em novos dados, reforça a idéia apresentada por Toledo (2002).

### **II.2.2.2 – Corpos Máficos a Ultramáficos Acamadados**

Segundo Toledo (2002), associados às faixas vulcano-sedimentares ocorrem corpos máfico-ultramáficos diferenciados, lenticulares e isolados, que apresentam proporções

variáveis de termos máficos (matagabros e anfíbolitos) e ultramáficos (metaperidotito e metapiroxenito). Parte desses corpos foi interpretada pela autora como *sills* intercalados na pilha vulcânica durante a deposição da sucessão vulcano-sedimentar, em ambiente de *plateau* oceânico.

### II.2.2.3 – Corpos Plutônicos Paleoproterozóicos

Os corpos plutônicos paleoproterozóicos que ocorrem na área de estudo são: Granito Ritópolis, Gnaisse Granítico Fé (Ávila 2000 & Noce *et al.* 2000), Granitos Itutinga e Itumirim (Chermam 2004), Granito São Tiago (Silva *et al.* 2002 e Campo & Carneiro 2005), Taboões (Quéméneur & Vidal 1989, Quéméneur & Noce. 2000, Noce *et al.* 2000, Toledo 2002), Trondhjemito Cassiterita (Ávila 2000, Toledo 2002), Suíte Serrinha (Ávila 2000) e o Gabro São Sebastião da Vitória (Valença *et al.* 2000, Ávila 2000) (Tabela II.1 e Figura III.1).

A origem desses corpos plutônicos, relacionados à evolução do Cinturão Mineiro, é ainda uma questão controversa. Teixeira & Figueiredo (1991) postulam que a Orogenia Transamazônica seria predominantemente ensialica, envolvendo o retrabalhamento de material crustal. Ávila (2000), por outro lado, sugere que o processo de formação de corpos tonalíticos-trondhjemíticos presentes na borda meridional do Cráton São Francisco envolveria a fusão parcial de material com características mantélicas, representado por uma crosta oceânica Paleoproterozóica.

Noce *et al.* (2000) identificaram dois grupos de granitóides distintos na porção sul do Cráton São Francisco, com base em suas assinaturas isotópicas: o primeiro, composto principalmente por granitos peraluminosos, com idades  $T_{DM}$  arqueanas (3,07-2,62 Ga), valores de  $\epsilon_{Nd(t)}$  entre -11,0 e -3,8 e altas razões iniciais de  $^{87}Sr/^{86}Sr$ , seriam formados a partir de uma fonte crustal arqueana; o segundo representado por tonalitos e granodioritos metaluminosos, com  $T_{DM}$  (2,43-2,27 Ga) e valores de  $\epsilon_{Nd(t)}$  entre -2,8 e +1, seriam o produto da mistura entre material juvenil paleoproterozóico (derivação mantélica) e diferentes proporções de material crustal arqueano.

Recentemente, Teixeira *et al.* (2005) consideram a Zona de Cisalhamento Lenheiro como um limite de domínio de plútons com gênese e conotação tectônica distintas. Os autores advogam que a evolução inicial do Cinturão Mineiro estaria relacionada à ruptura da litosfera oceânica paleoproterozóica (fase pré-arco), seguida do desenvolvimento de um

arco acrescionário intraoceânico. A partir do consumo da litosfera oceânica e da aproximação deste arco da margem passiva, ocorreu o incremento da contaminação crustal das fontes magmáticas e a justaposição de dois conjuntos plutônicos distintos.

#### **II.2.2.4 – Seqüências Metassedimentares**

A região inclui três bacias deposicionais proterozóicas distintas (Ribeiro *et al.* 1995): Bacia São João Del Rei, Carandaí e Andrelândia.

**Bacia São João Del Rei:** esta bacia, de caráter intracontinental, foi gerada por extensão e adelgaçamento crustal. Tem a sua formação entre 1,80 e 1,30 Ga, e relacionada aos sedimentos dos ciclos deposicionais Tiradentes e Lenheiro, que repousam em discordância angular e litológica sobre o embasamento caracterizado por rochas arqueanos e paleoproterozóicas.

**Bacia Carandaí:** é uma bacia também de caráter intracontinental, formada entre 1,30 e 1,00 Ga, cuja estratigrafia é composta por lentes e/ou camadas de metacalcários, intercalados com sedimentos pelíticos, margas, diamectitos e quartzitos finos correlatos ao ciclo deposicional Carandaí.

**Bacia Andrelândia:** desenvolvida por volta de 1.0 a 0,6 Ga, como uma bacia de margem passiva, apresenta uma estratigrafia descrita da base para o topo como: paragneisses basais, quartzitos e paragneisses intercalados, quartzitos, xistos cinzentos com escassas intercalações de quartzitos, biotita-xisto e associações de xistos, gnaisses, anfíbolitos e rochas calcissilicatadas.

#### **II.2.3 – SUPERGRUPO MINAS**

Entre os blocos oeste e leste encontra-se a Serra de Bomsucesso, localizada na extremidade SW de uma zona de cisalhamento transcorrente sinistral que se estende desde a região do Quadrilátero Ferrífero até a região de Ibituruna. A serra é formada por rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, correlação esta realçada pela continuidade da camada de itabirito entre a Serra da Moeda, em Jeceaba no sudoeste do Quadrilátero Ferrífero, (Quéméneur *et al.* 2003).

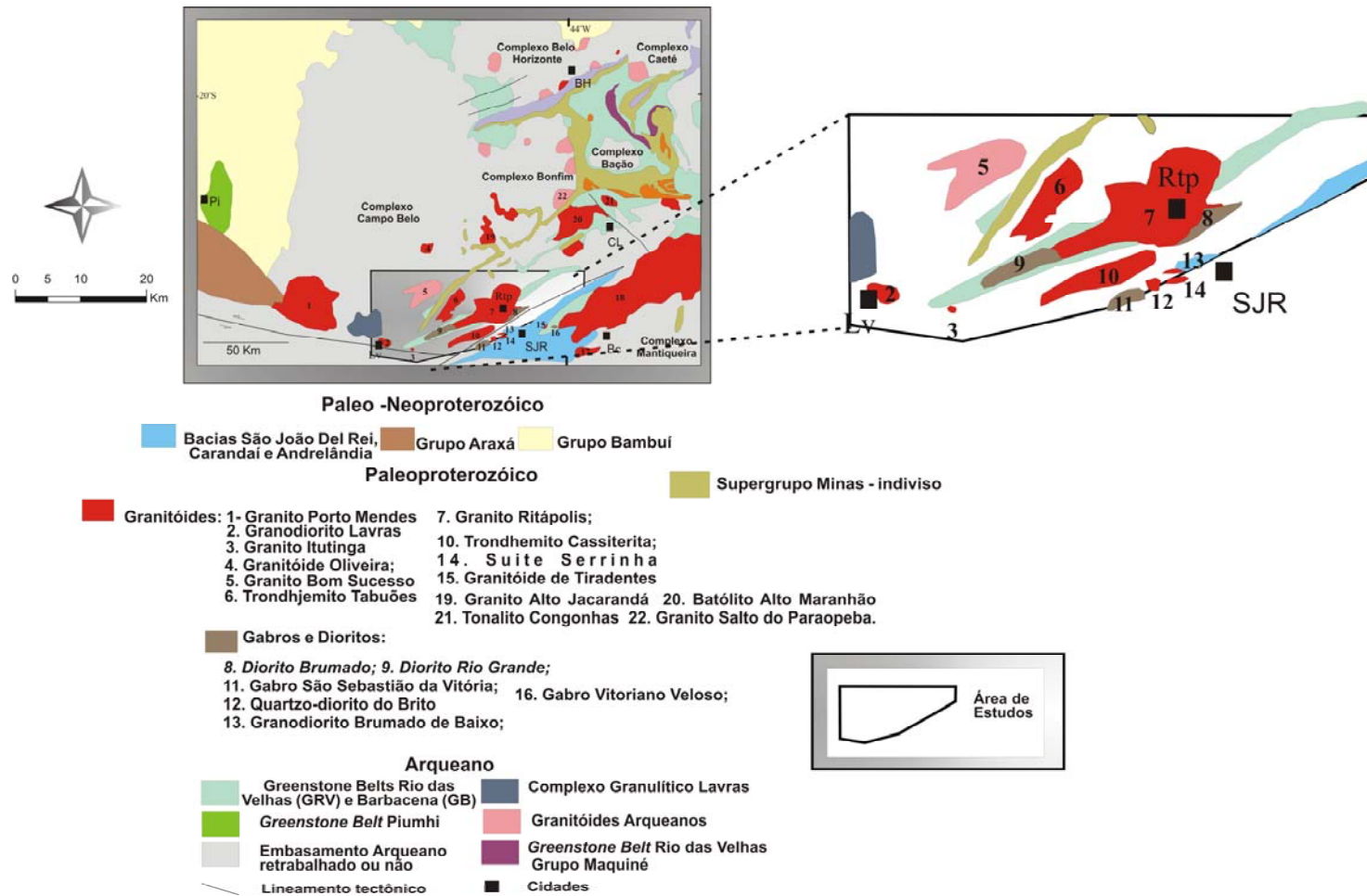


#### **II.2.4.– DIQUES MÁFICOS**

Pinese (1997) mapeou na região de Lavras-Bomsucesso, uma suíte de diques máficos de composição gabro-norítica, com idade Sm-Nd da ordem de  $2697 \pm 38$  Ma. Na mesma região, descreveu uma outra suíte básica, para a qual obteve uma idade paleoproterozóica com base numa errócrona de Rb-Sr ( $1.875 \pm 101$  Ma), associada à evolução do Cinturão Mineiro.

**Tabela II.1** – Dados isotópicos dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro.

<b>Corpo</b>	<b>Idade</b>	<b>Método/Autor</b>	<b>Método</b>
Granito Tabuões	1.932 ± 021 Ma	Quéméneur & Vidal (1989)	Rb/Sr -
	1.962 ± 20	Noce <i>et al.</i> (2000)	Rb/Sr
Gabro São Sebastião da Vitória	2.220 ± 3 Ma	Valença <i>et al.</i> (2000)	U/Pb
Granito Ritápolis	1.863 ± 044 Ma	Noce <i>et al.</i> (2000)	Rb/Sr
	2.061 ± 200 Ma	Campos & Carneiro (2005)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
	2.121 ± 7 Ma	Ávila (2000)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Tonalito/Trondhjemito Cassiterita	2.162 ± 10 Ma	Teixeira <i>et al.</i> (2005)	U/Pb
	2.162 ± 10 Ma	Ávila (2000)	<sup>7</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Itutinga	~1.900 Ma (inferida)	Noce <i>et al.</i> (2000)	
Ortognaisse Velho Itutinga	-2.202 ± 5 Ma	Chermam (2004)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
	-2.177 ± 4 Ma	Chermam (2004)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Ortognaisse Novo Itumirim	-2.101 ± 8 Ma	Chermam (2004)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Ortognaisse Velho Nazareno	-2.255 ± 6 Ma	Chermam (2004)	Pb/ <sup>206</sup> Pb <sup>207</sup> Evaporação de Zircão
Ortognaisse Novo Macuco de Minas	-2.116 ± 9 Ma	Chermam (2004)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Trondhjemito São Tiago	2050 ± 12 Ma	Silva <i>et al.</i> 2002	U-Pb SHRIMP
	1.887 ± 19 Ma	Campos & Carneiro (2005)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Evaporação de Zircão
Quartzo Monozodiorito Glória e Granodiorito Brumado de Cima	2.189 ± 29 Ma	Teixeira <i>et al.</i> (2005)	U/Pb
Granodiorito Brumado de Cima	2.221 ± 70 Ma	Teixeira <i>et al.</i> (2005)	U/Pb
Anfibolito Caburu	2.192 ± 6 Ma	Teixeira <i>et al.</i> (2005)	U/Pb



**Figura II.3** - Mapa geológico esquemático da borda meridional Cráton São Francisco, ilustrando as principais unidades geológicas do Cinturão Mineiro e adjacências, destacando o polígono da área de estudo (Modificado de Ávila, 2000).



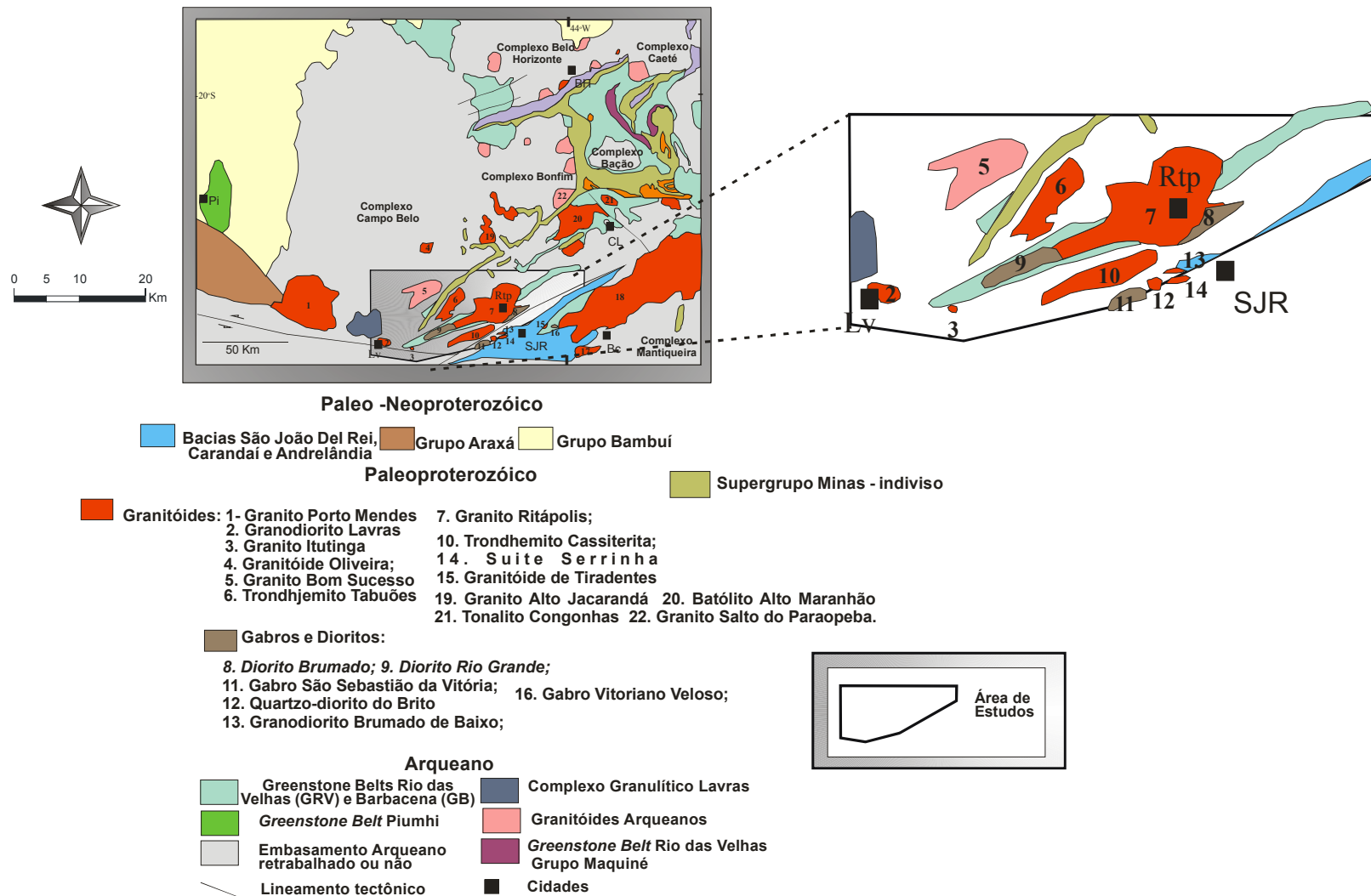
### **CAPÍTULO III - GERAÇÃO DE MAPAS LITOGEOFÍSICOS COMO INSTRUMENTO PARA A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA: O EXEMPLO DO CINTURÃO MINEIRO - MG**

---

O avanço em tecnologias de mapeamento, utilizando-se dados aerogeofísicos e sistemas de informações geográficas tem revolucionado o mapeamento geológico em todo o mundo. No Brasil, alguns estudos de casos estão sendo desenvolvidos, no intuito de se criar subsídios para uma sistematização deste método (Silva 1999, Blum 1999, Rosa-Costa *et al.* 2002, Silva *et al.* 2003, entre outros).

Neste contexto, utilizou-se os dados provenientes do levantamento aerogeofísico Ipatinga-São João Del Rei, efetuado pela COMIG (Companhia Mineradora de Minas Gerais, atual CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais) e SEME (Secretaria de Minas e Energia do Estado de Minas Gerais) que recobre a área de estudo (Figura III.1), onde informações chave sobre o arranjo dos corpos plutônicos do Cinturão Mineiro são realçadas. Uma série de produtos derivados de dados aeromagnéticos e gamaespectrométricos de alta densidade de amostragem, foram interpretados e validados em trabalhos de campo. Posteriormente, esses dados foram interpolados com dados geológicos disponíveis na literatura em plataforma SIG (ESRI - ArcView™ 3.2 e ESRI - ArcGIS 9.0).

O produto final é um mapa geológico na escala 1:100.000, onde os contatos e a distribuição de corpos plutônicos do Cinturão Mineiro foram redefinidos, bem como a extensão de unidades fora das áreas já mapeadas na escala 1:50.000.



**Figura III.1** - Mapa geológico esquemático da borda meridional Cráton São Francisco, ilustrando as principais unidades geológicas do Cinturão Mineiro e adjacências, destacando o polígono da área de estudo (Modificado de Ávila, 2000).



### **III.1 – MATERIAIS**

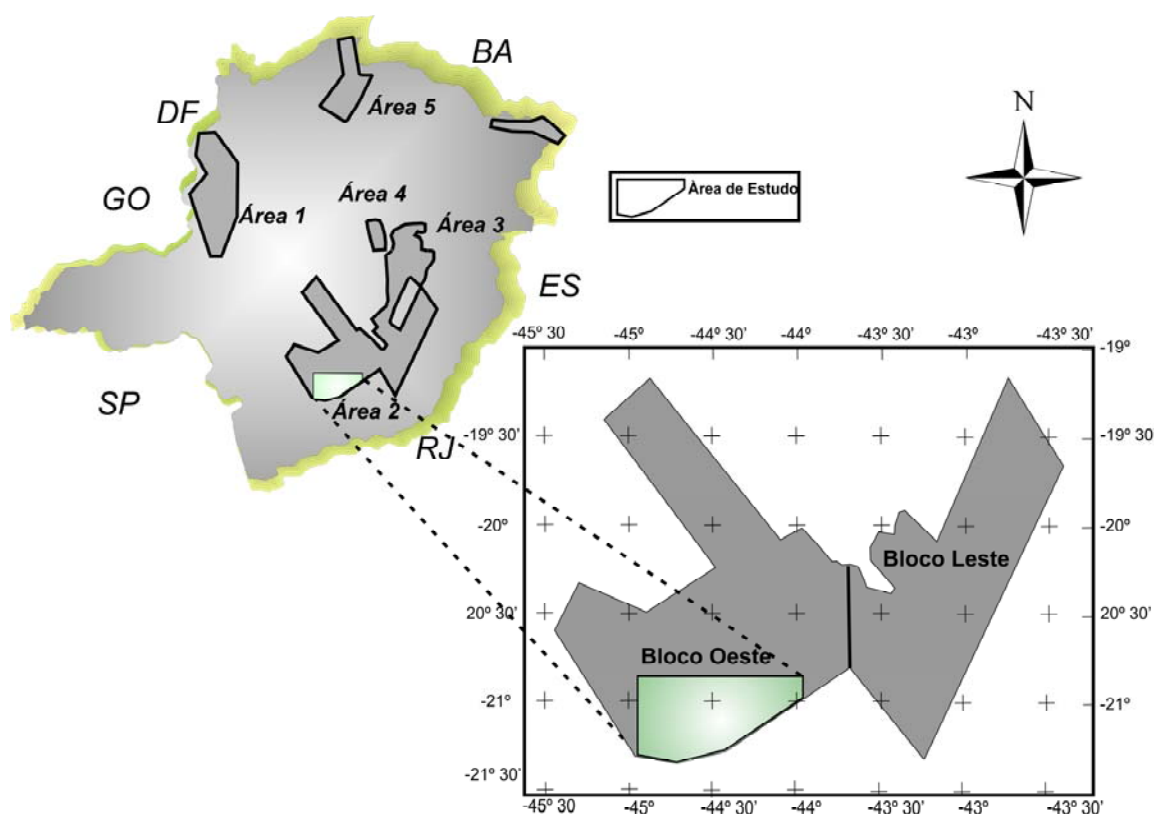
#### **III.1.1 – Dados Aerogeofísicos**

Os dados aerogeofísicos são oriundos do Projeto Pitangui - São João Del Rei - Ipatinga, realizado pela CODEMIG e Secretaria de Minas e Energia (SEME) estado de Minas Gerais, gentilmente cedidos por estes órgãos para o presente trabalho.

O aerolevanteamento foi efetuado a altura constante (100 m) e com linhas de vôo e de controle espaçadas de 250 m e 2.500 m, respectivamente em dois blocos: o bloco oeste as linhas de vôo de direção posicionam-se na direção N 30°E, enquanto o bloco leste são de direção N 30°W, e linhas de controle na direção N 60°E e N 60°W, respectivamente (Figura III.2). Ao longo dos perfis foram realizadas dez leituras do aeromagnetômetro e uma leitura do gamaespectrômetro por segundo, posicionadas com sistema de observação de satélite GPS, de precisão maior do que 10 m. Os dados foram registrados a bordo da aeronave, digital e analogicamente, pelo sistema de aquisição GEODAS. Duas estações fixas foram instaladas nas bases de operações, Ponte Nova (MG) e Santo Antonio do Amparo (MG), para monitoramento da órbita dos satélites, assim como para controle da variação diurna do campo magnético terrestre.

Após a aquisição dos dados, estes foram processados pela empresa Lasa, e foram cedidos pela CODEMIG/Secretaria de Minas e Energia de Minas Gerais e reprocessados por Silva *et al.* (2003) utilizando-se o *Geosoft-Oasis Montaj* 5.1.8 e posteriormente, foram recortados para a área de trabalho.





**Figura III.2**– Localização do levantamento aerogeofísico do Projeto Pitangui-São João Del Rei-Ipatinga (Área 02) (Modificado de Lasa, 2001).

### III.1.2 – Dados Cartográficos

Neste trabalho foram utilizados os mapas geológicos da região de Nazareno na escala 1:50.000 (Toledo 2002); região de São João Del Rei (Ávila 2000), bem como os mapas na escala 1:100.000 do Projeto Sul Minas (Quéméneur *et al.* 2003; Ribeiro *et al.* 2003). Além da cartografia geológica, foram utilizados dados as cartas Topográficas de Nazareno (Folha SF-23-X-C-1-4), a parte norte da carta Itutinga (Folha SF-23-X-C-1-4) na escala 1:50.000; e o extremo sul das cartas de Bomsucesso (Folha SF 23 X-A-IV) e Rezende Costa (Folha SF-23-X-A-V) na escala 1:100.000.

### III.1.3 – Dados Interferométricos SRTM

Os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foram adquiridos a partir de uma missão da Nasa que objetivou obter a topografia de todos os continentes. A missão foi realizada a bordo do ônibus espacial Endeavour no ano de 2000. Os dados inicialmente



tinham uma resolução de 30 m (1arcsegundos) e foram degradados para 3arcsegundos, o equivalente a ~ 90 m no terreno (Souza Filho 2005).

O SRTM, permite gerar produtos na mesma escala em que os dados geofísicos estão sendo interpretados (1:100.000).

#### **III.1.4 – Dados LANDSAT 7 -ETM+**

O LANDSAT 7/ ETM+ é composto por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 apresentam resolução espacial de 30 m, as bandas do infravermelho termal (canais 6L e 6H) possuem 60 metros e a pancromática (banda 8) 15 m.

A cena LANDSAT, 218/ 075 que recobre a região em apreço, foi mascarada para a área de estudo e posteriormente combinadas as bandas 3, 2 e 1 adicionando-se como quarta componente a imagem do SRTM.

#### **III.1.5 - Dados Geológicos, Geoquímicos e Isotópicos**

Os dados petrográficos e geocronológicos são de Noce *et al.* (2000); geoquímicos de Quéméneur & Noce (2000); geológicos, geoquímicos e geocronológicos (Sm/N em rocha total) de Toledo (2002) e dados geológicos, geoquímicos e geocronológicos (Pb/Pb - evaporação de zircão) de Ávila (2000).

#### **III.1.6 - Equipamentos**

Foi utilizado um receptor GPS Pathfinder Pocket (Figura III.3) acoplado a um palmtop (Windows CE), cuja precisão vai de 2 a 5 metros pré-processamento e centimétrica pós-processamento utilizando a rede da TRIMBLE – Embratop ([www.embratop.com.br](http://www.embratop.com.br)). Parte do banco de dados gerado para área de estudo foi acoplado dentro do palmtop para monitoramento das anomalias geofísicas na área de estudo. Todos os pontos coletados foram analisados nas imagens derivadas dos dados aerogeofísicos e no mapa litogeofísico em tempo real. Este procedimento otimiza o mapeamento geológico, a indentificação de variações internas mapeadas nas imagens ternárias RGB (K, eTh, eU) e que não são fáceis de serem indentificadas em campo.





**Figura III.3** Receptor GPS Pathfinder Pocket acoplado a um *palmtop* utilizado para o mapeamento geológico na área de estudo, onde foi acoplado parte do banco de dados gerado para área de estudo. Todos os pontos coletados foram analisados nas imagens derivadas dos dados aerogeofísicos e no mapa litogeofísico em tempo real.

### III.2 – MÉTODOS

A interpretação dos dados aerogeofísicos e produtos integrados foi realizada em duas etapas. A primeira consistiu na análise e interpretação dos dados aerogeofísicos em meio analógico e digital nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. Na segunda etapa, os dados foram reinterpretados em meio digital nas escalas 1:100.000 e 1:50.000.

Para comparar os resultados obtidos, foi elaborado um banco de dados georreferenciado, contendo: imagens Landsat, SRTM, bem como, dados geológicos (Ávila 2000, Toledo 2002, Quéméneur *et al.* 2002, Ribeiro *et al.* 2002), geoquímicos e isotópicos.

Segue abaixo a descrição de cada etapa, bem como a extração dos domínios interpretados.



### III.3- REALCE E ANÁLISE DOS DADOS

O realce destes dados constou na confecção de uma série de produtos derivados do aerolevante na área em questão (Figuras III. 6 a III. 12), utilizando o estado da arte em termos de técnicas de processamento de dados.

O fluxograma da figura III.4 apresenta as etapas do processamento dos dados magnéticos. Primeiramente foi efetuada a análise do relevo referente ao campo magnético anômalo (CMA), o qual representa as anomalias magnéticas situadas na crosta acima da superfície Curie. O CMA foi cedido no arquivo inicial dispensando o seu cálculo, pela remoção do IGRF. A resposta magnética observada no campo magnético anômalo pode ser de natureza profunda como, por exemplo, fontes situadas na base da crosta, ou de natureza rasa. Este fato, entre outros, dificulta sua interpretação direta, sendo necessário a geração de outros produtos para interpretação adequada dos dados. Desta maneira, foram gerados cinco produtos derivados a partir do campo anômalo, para posterior análise e interpretação da área de estudo, tais como: primeira derivada vertical (Dz), primeira derivada horizontal em X (Dx), primeira derivada horizontal em Y (Dy), o gradiente horizontal total (GHT) e a amplitude do sinal analítico de ordem zero (ASA).

A amplitude do sinal analítico é uma função depende da direção de magnetização da fonte e das características do campo magnético terrestre. Por possuir estas propriedades e ser uma função simétrica, sua resposta tem seus picos posicionados sobre as bordas do alvo ou feição geológica estudada, facilitando sua interpretação (Figura III. 6).

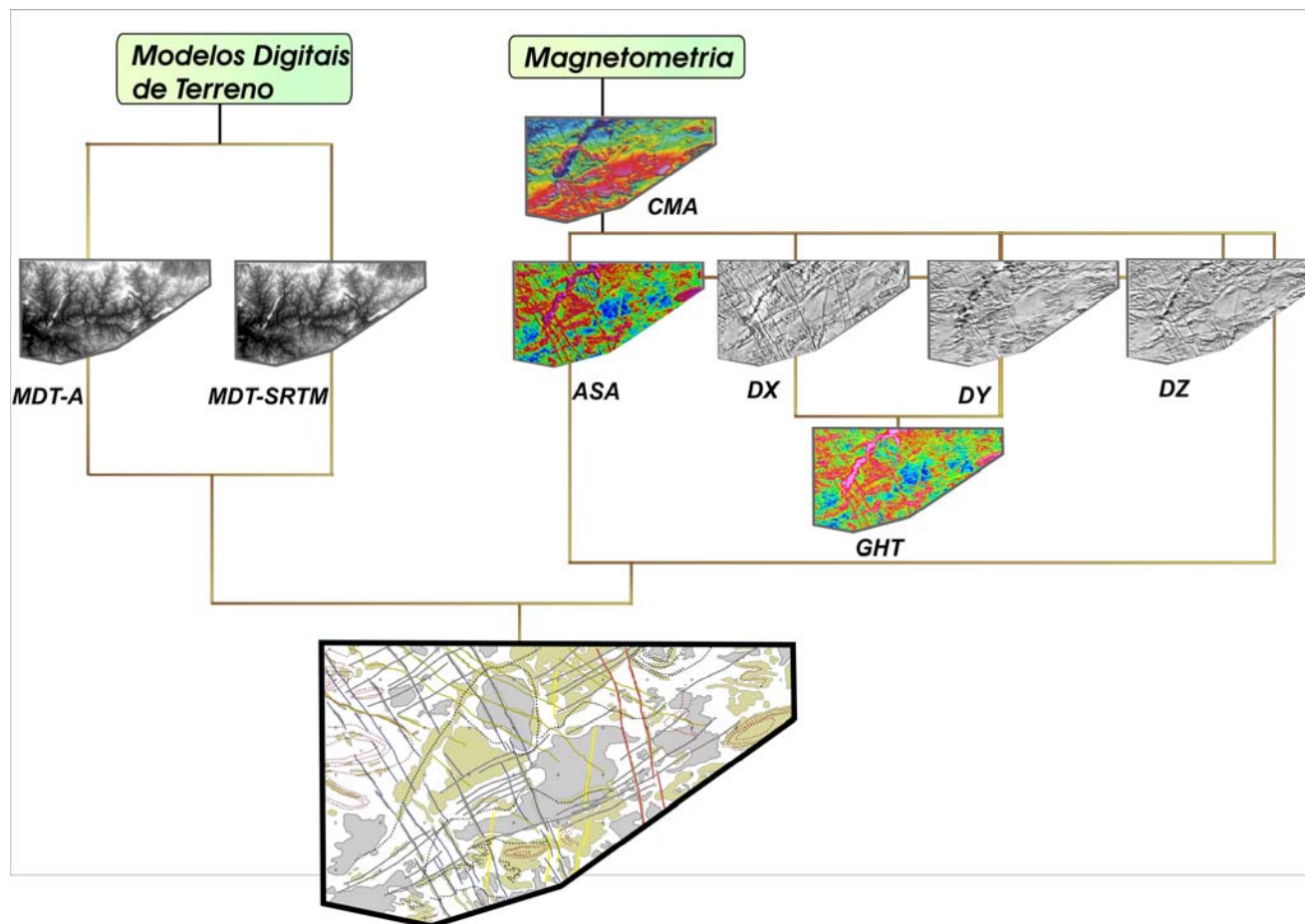
O filtro de derivada vertical (Dz) promove a amplificação do conteúdo de alta frequência em detrimento ao de baixa frequência, funcionando como um filtro passa-alta. Estes realçam as regiões de maior gradiente magnético ressaltando bordas e contatos de corpos rasos. De forma geral são conhecidos como filtros de derivada direcional sendo também aplicados na direção horizontal (Figura III. 7, 8, 9).

O processamento dos dados gamaespectrométricos seguiu as etapas propostas no fluxograma da figura III.5. Foram gerados mapas para cada um dos canais gamaespectrométricos: contagem total (CT) (figura III.12), canal de potássio em percentagem (K), canal do equivalente de Tório em ppm (eTh) e o canal do equivalente urânio em ppm (eU). A partir destes canais foram elaboradas composições ternárias, em falsa cor, utilizando os padrões de cores RGB e CMY (Figura III.10 e 11). A cada canal (K,

eTh e eU) atribuiu-se uma determinada cor com sua intensidade, sendo proporcional à concentração dos radioelementos naquele ponto de observação. O processo de adição das cores que representa cada canal possibilitou uma maior diferenciação dos diversos litotipos. Os mapas em RGB e CMY foram comparados com a topografia gerada no aerolevanteamento, com o objetivo de verificar se as anomalias encontram-se em *situ* ou não.

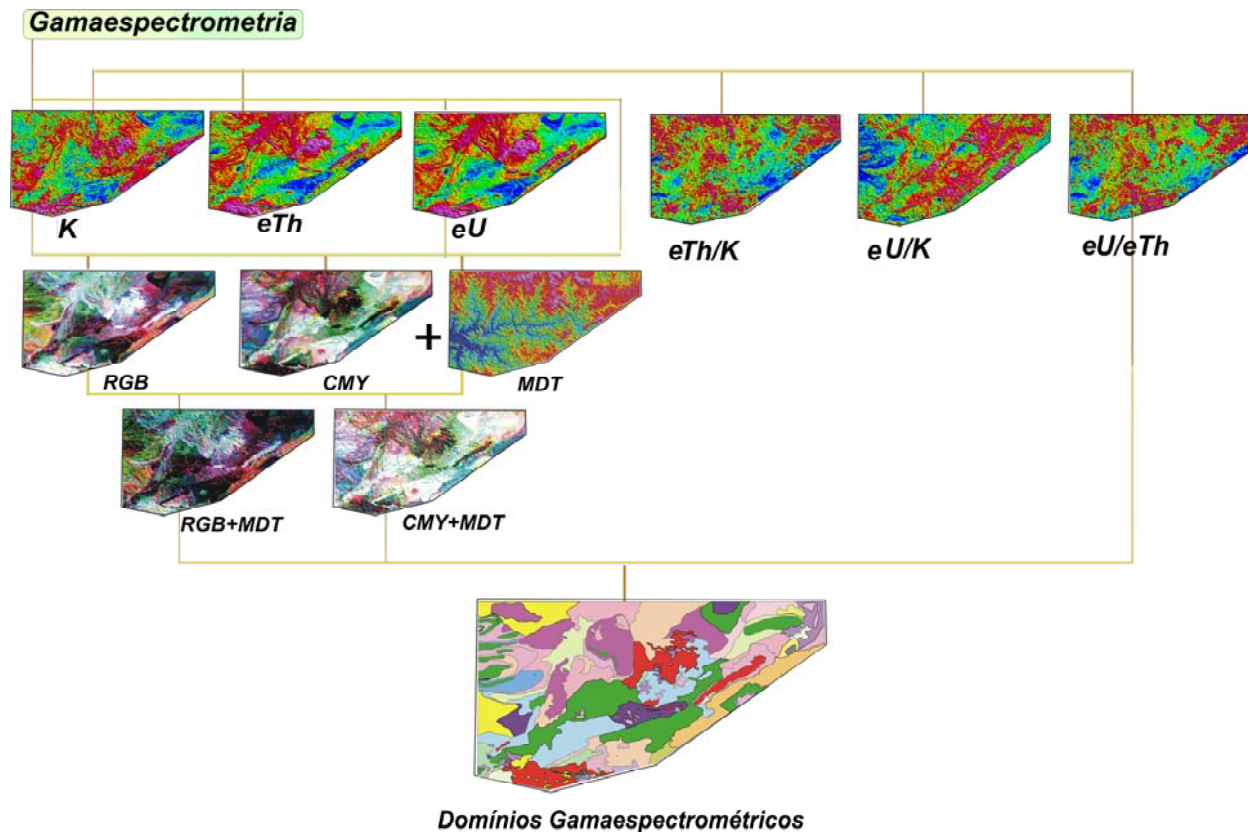
As razões eU/eTh, eTh /K, eU/K (figuras III. 13 a 15), auxiliaram no mapeamento dos limites e distribuição das unidades geológicas, bem como no entendimento das variações internas de radioelementos.





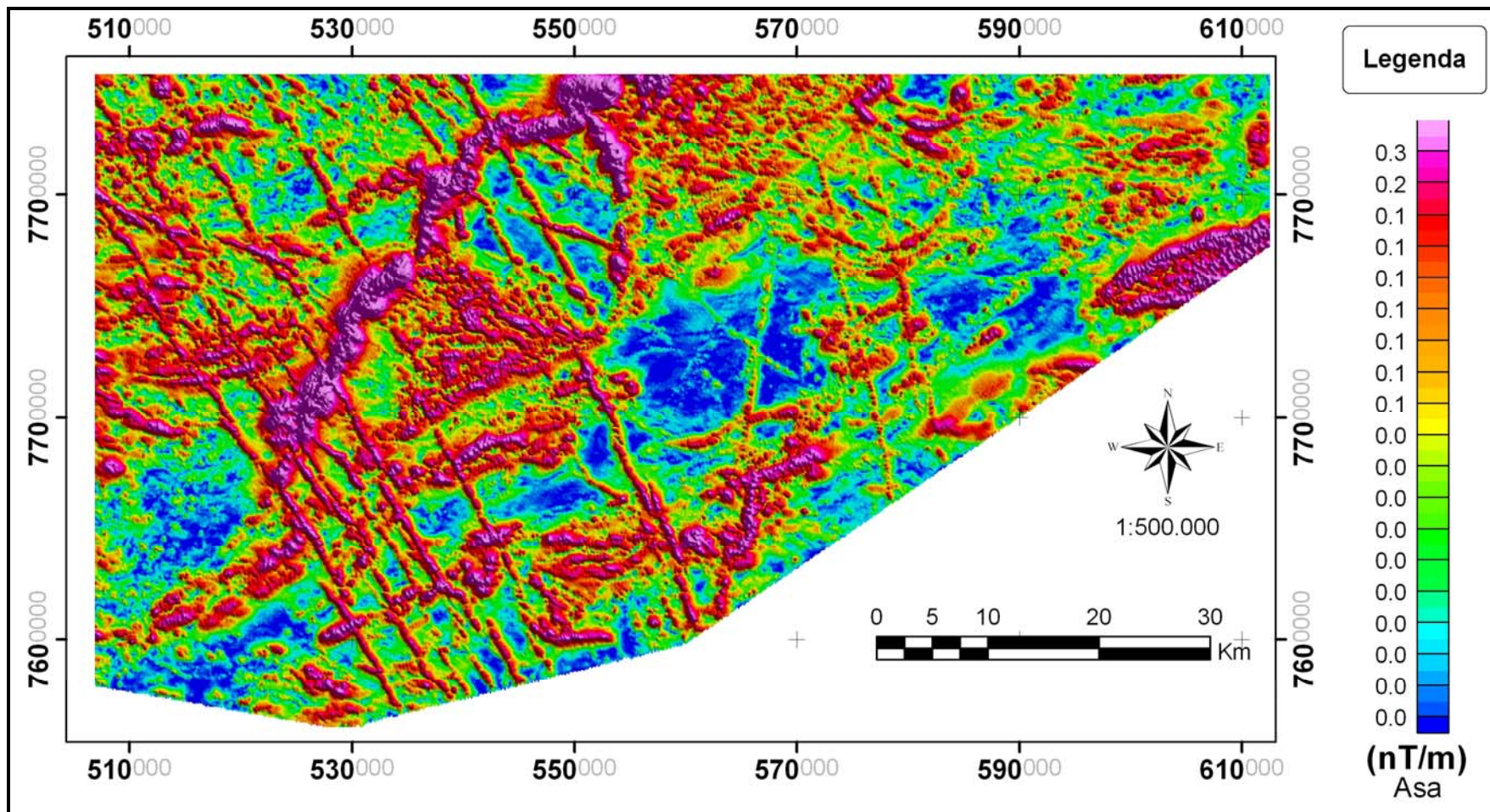
**Figura III.4** – Fluxograma ilustrando as principais etapas de realce e processamento dos dados magnéticos, bem como a extração dos domínios e estruturas magnéticas. **CMA** – Campo Magnético Anômalo, **ASA** – Amplitude do Sinal Analítico de ordem zero, **DX** – Primeira derivada Horizontal em X, **DY** – Primeira Derivada Horizontal em Y e **DZ** – Primeira Derivada Vertical e **GHT** – Gradiente horizontal total. **MDT – A** - Modelo Digital de Terreno gerado a partir dos dados aerogeofísicos, **MDT - SRTM** – Modelo Digital de Terreno gerado a partir dos dados do sensor SRTM.





**Figura III.5** – Fluxograma exibindo as etapas de realce e interpretação dos domínios aerogamaespectrométricos; K – canal de potássio em percentagem; eTh – canal do equivalente de tório em ppm; eU – canal do equivalente de urânio em ppm; eTh/K – razão do equivalente de tório e potássio, eU/K – razão do equivalente de urânio e potássio, eU/eTh – razão do equivalente de urânio pelo equivalente de tório; RGB – composição ternária em falsa cor R (canal de K), G (canal de Tório), B (canal de Urânio); CMY – composição ternária em falsa cor CMY, C (canal de K), M (canal de Tório), Y (canal de Urânio); MDT – modelo digital de terreno da geofísica. RGB + MDT – Integração da composição ternária colorida em falsa cor RGB com o modelo digital de terreno da geofísica no canal de intensidade. CMY + MDT – Integração da composição ternária colorida em falsa cor CMY com o modelo digital de terreno da geofísica no canal de intensidade.





**Figura III.6** – Mapa de Amplitude do Sinal Analítico de ordem zero (ASA). Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



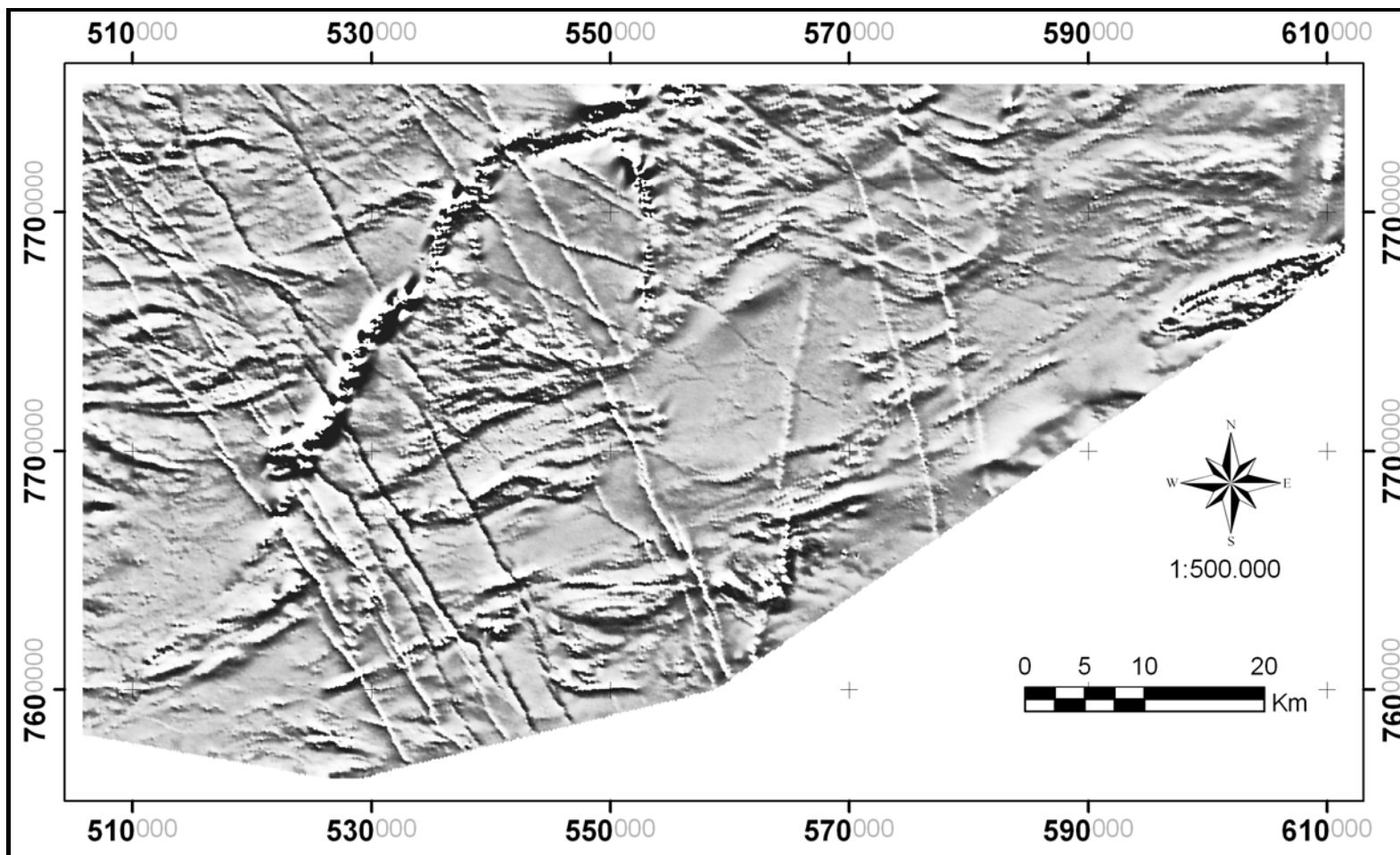
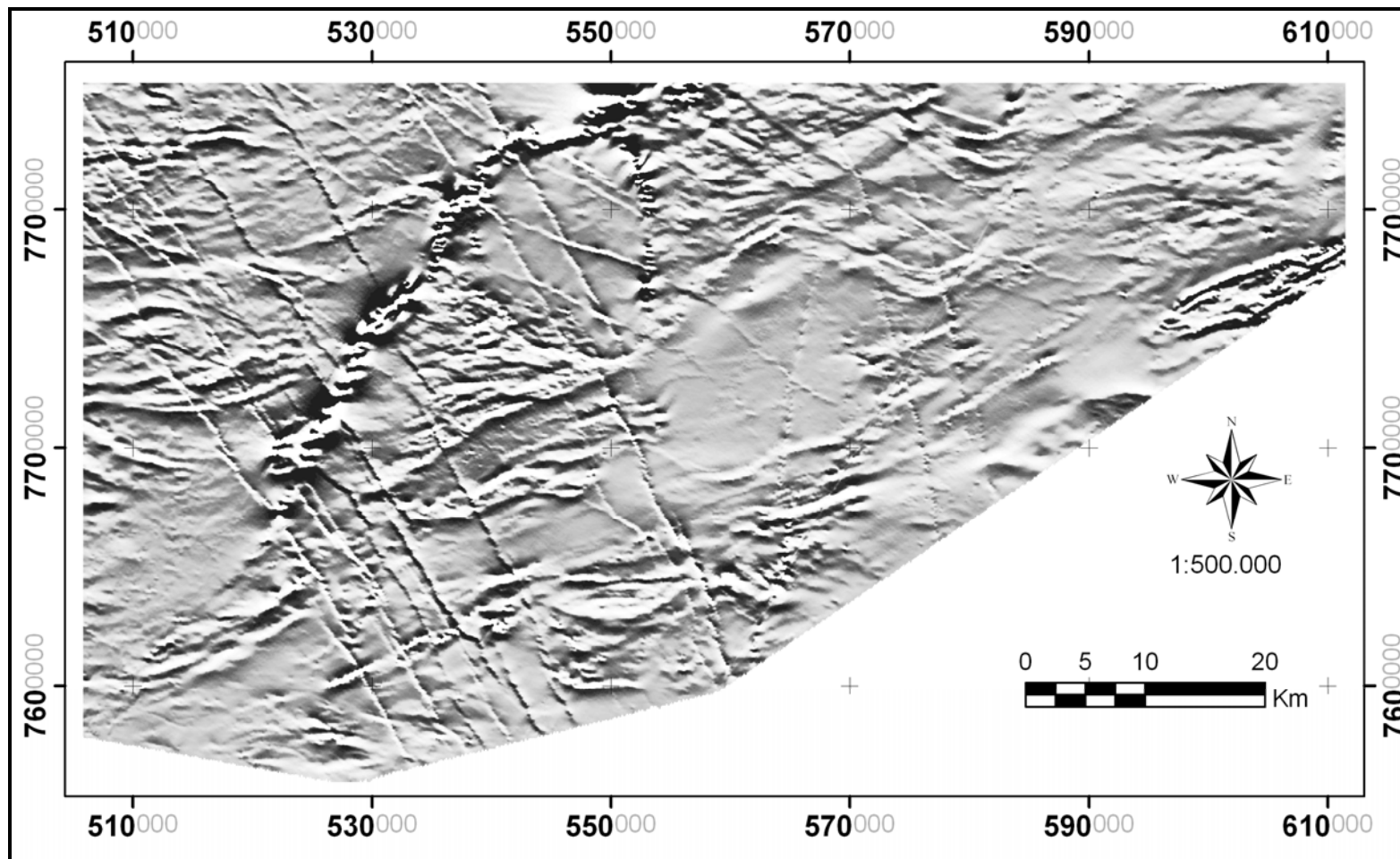


Figura III.7 – Mapa da derivada vertical (DZ) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.







**Figura III.8** – Mapa da derivada horizontal (DY) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



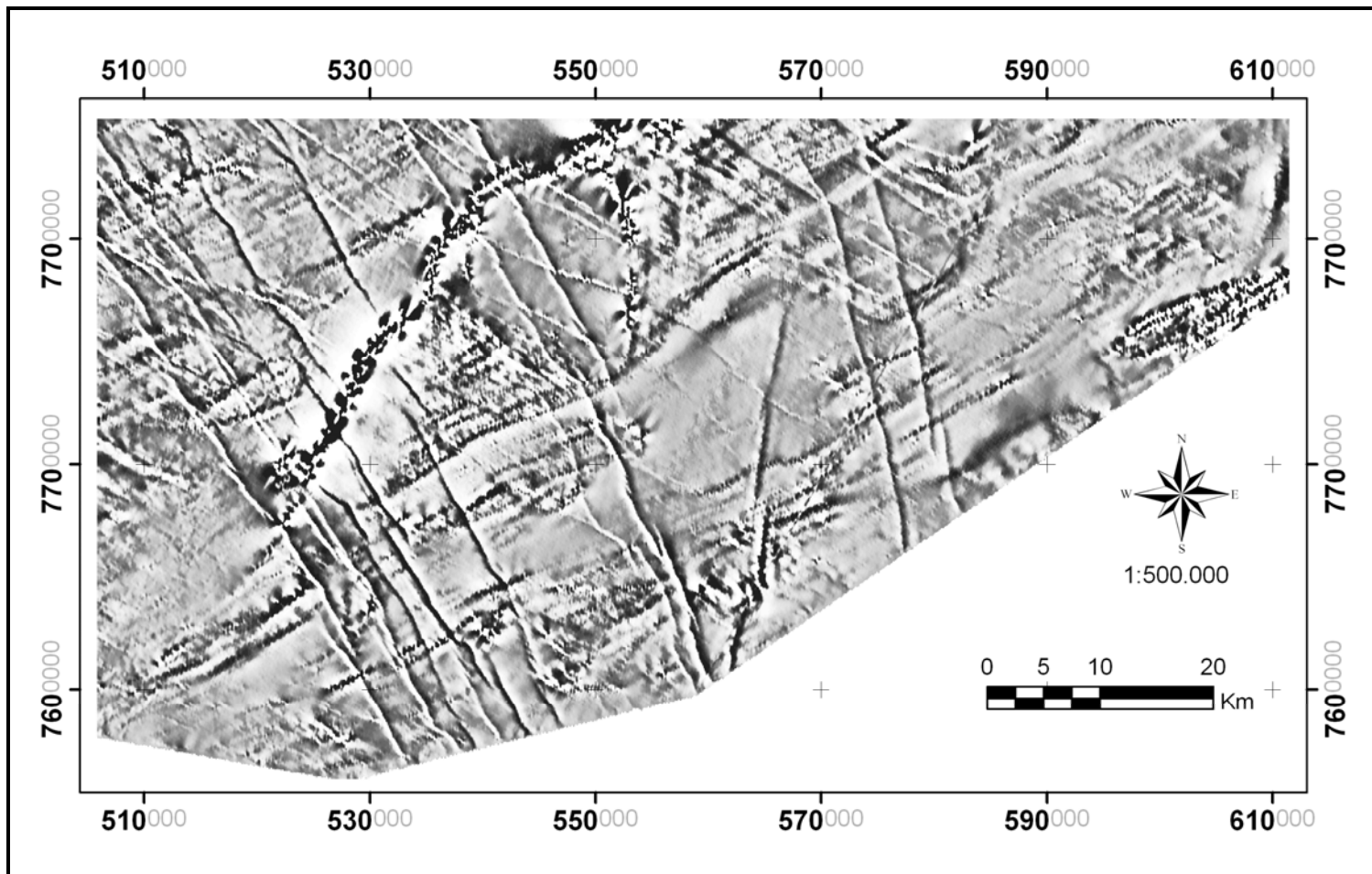
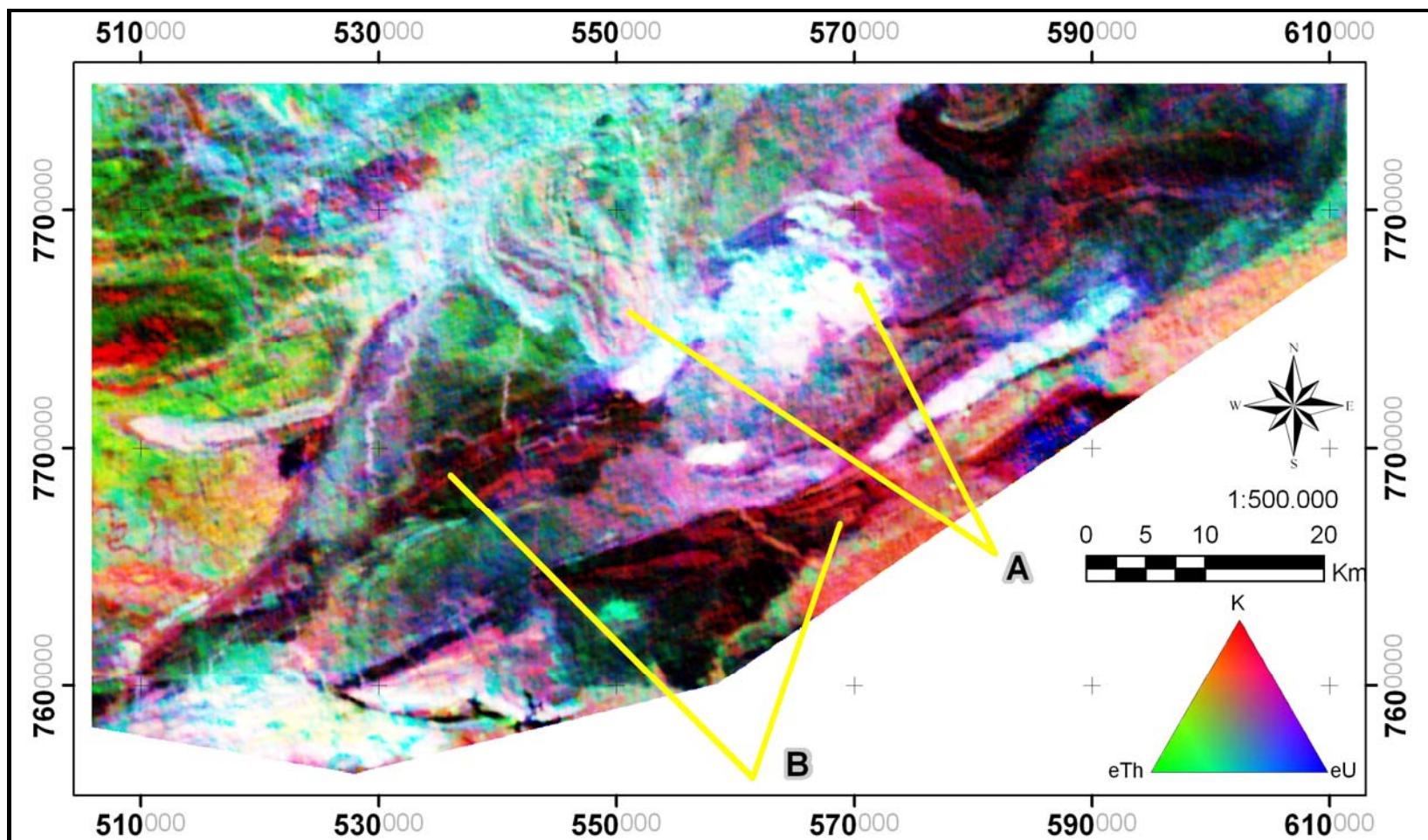


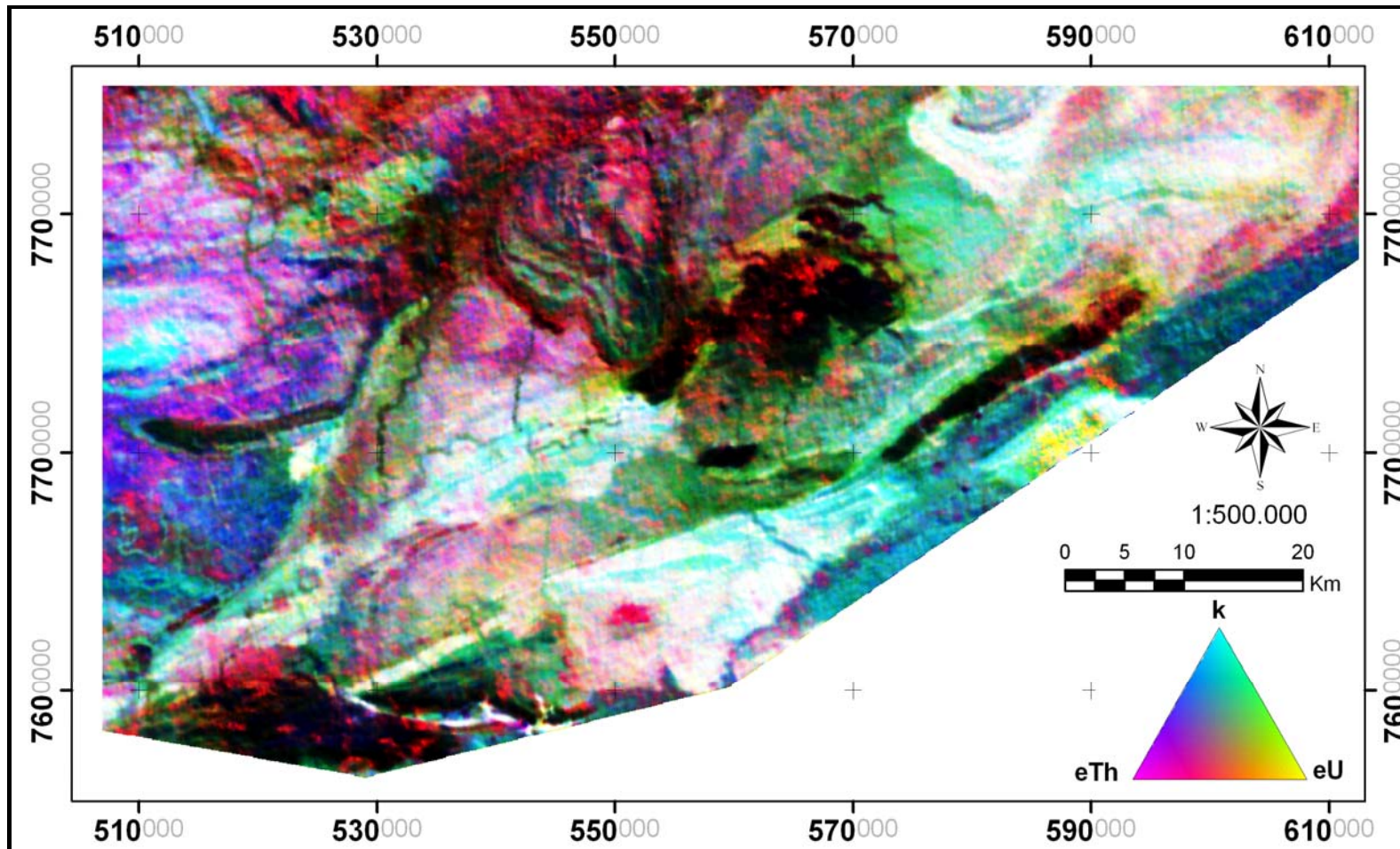
Figura III.9 – Mapa da derivada horizontal (DX) . Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.





**Figura III.10** – Mapa ilustrando a composição ternária em falsa cor RBG (KeTheU) da área de estudo. Em A observa-se os corpos félsicos do Cinturão Mineiro, tais como, o granito Ritápolis e São Tiago. Em B, a expressão do *Greenstone* Barbacena (faixas Rio das Mortes e Nazareno). Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.

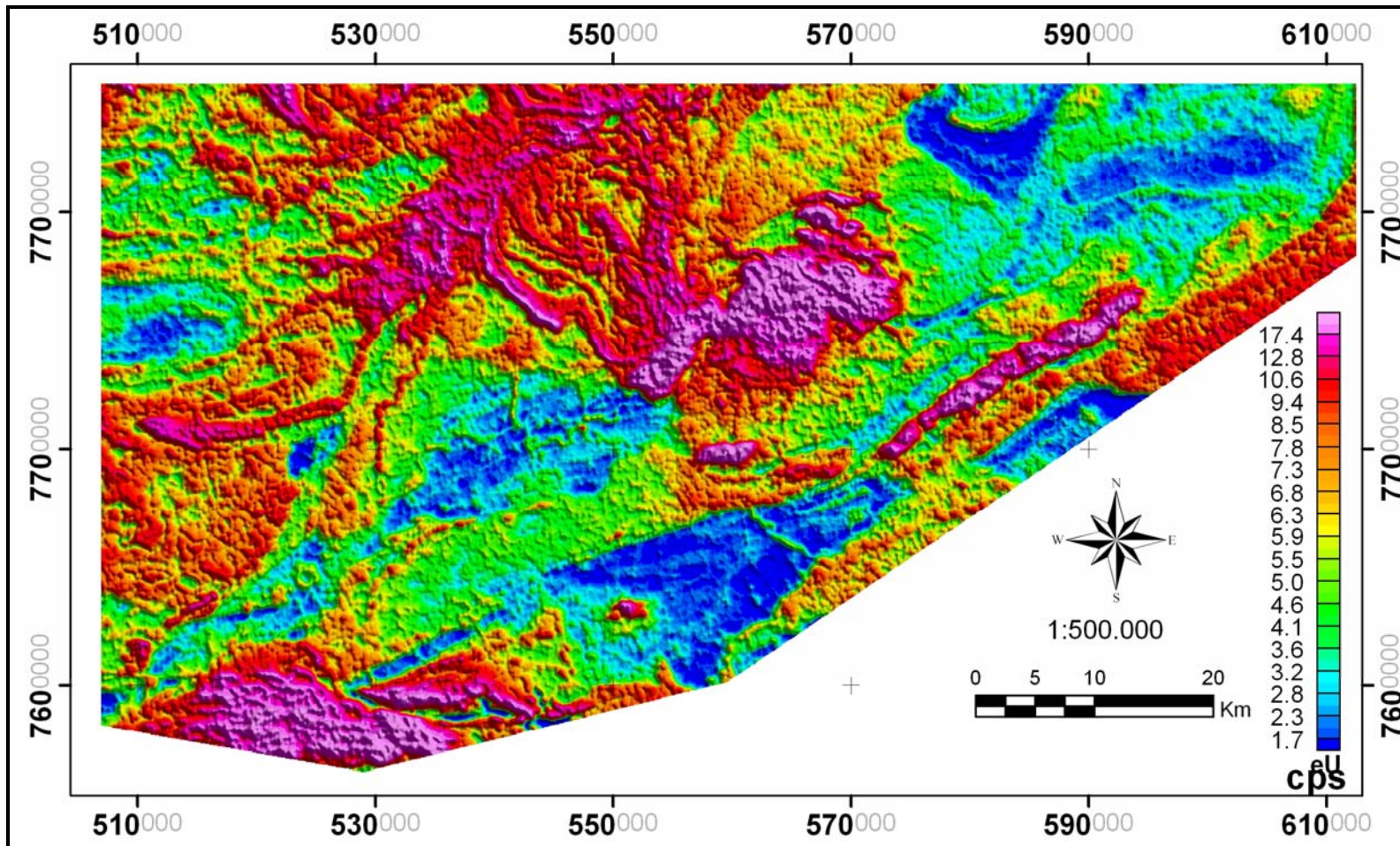




**Figura III.11** – Mapa ilustrando a composição ternária em falsa cor CMY (KeTheU) da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.







**Figura III.12** – Mapa do canal de contagem total da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



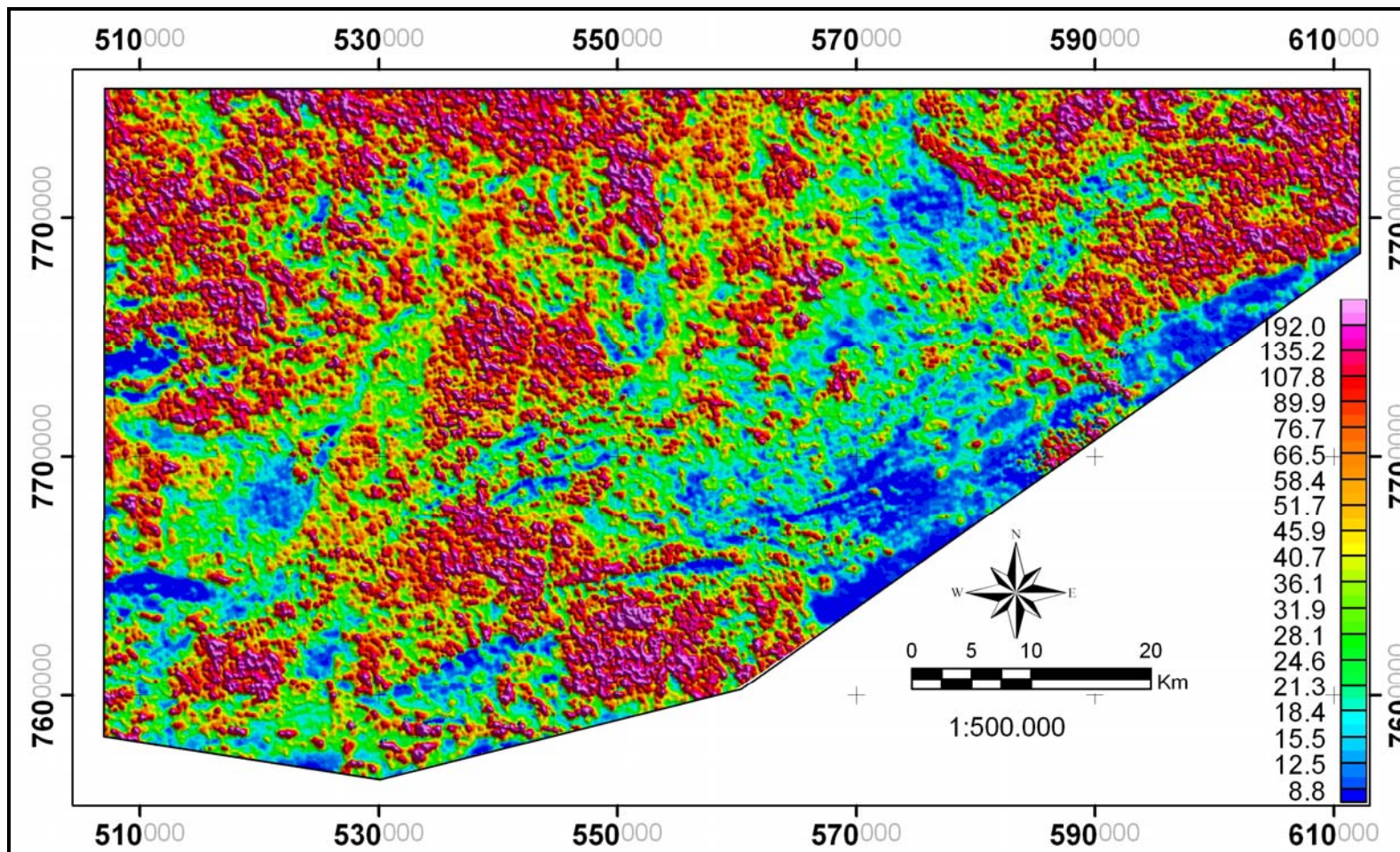


Figura III.13 – Mapa da razão dos canais de  $eU/K$  da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



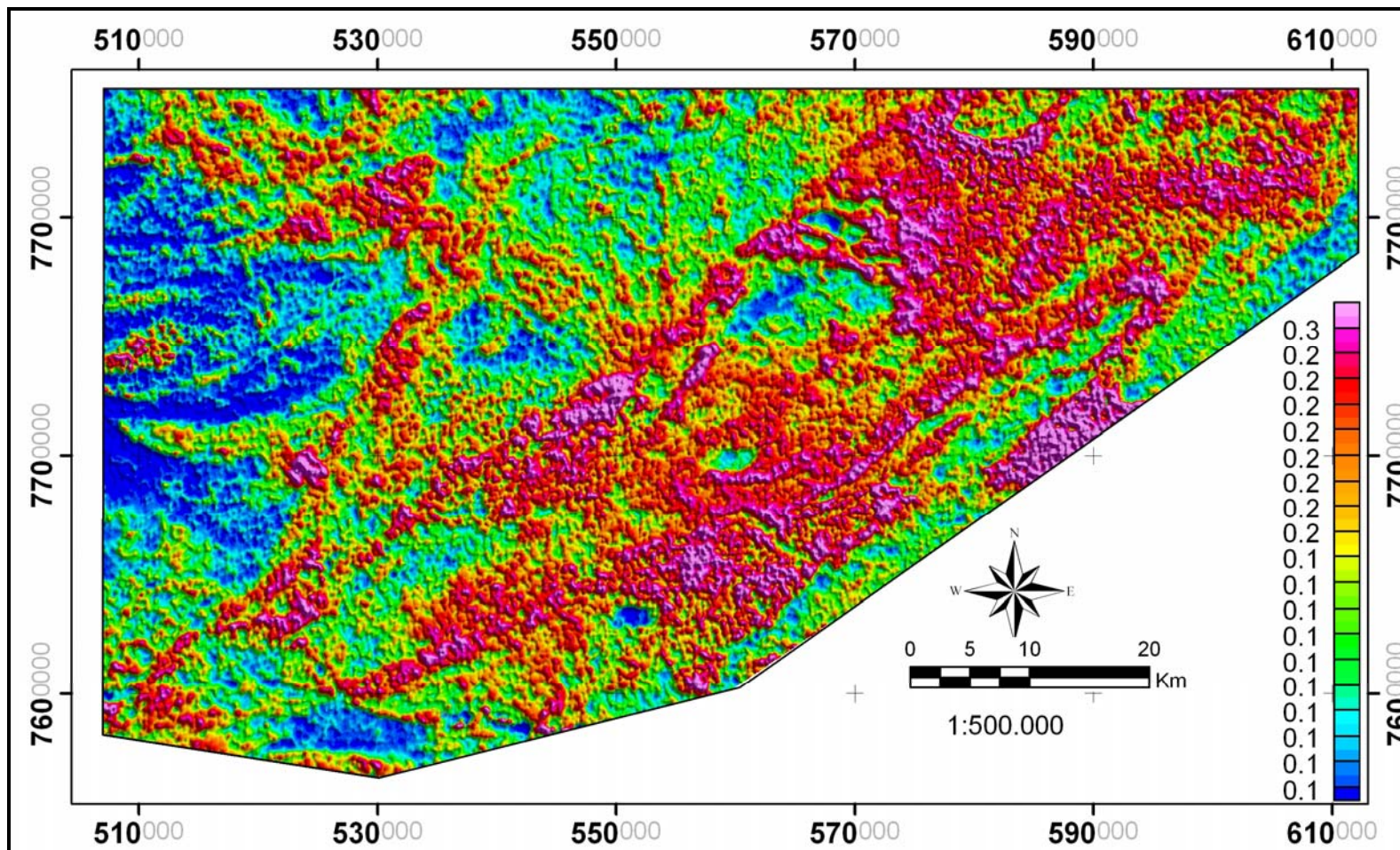
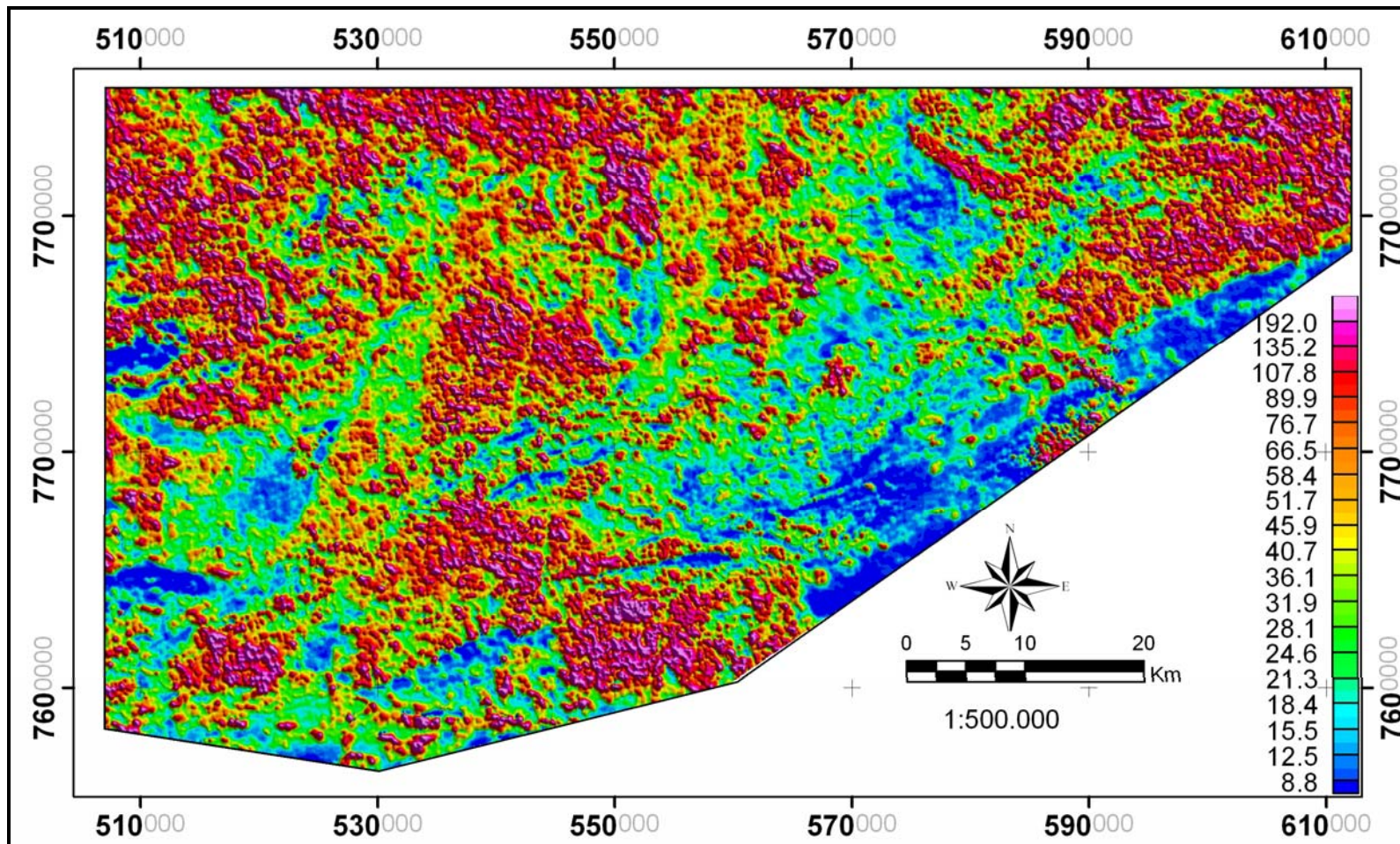


Figura III.14 – Mapa da razão dos canais de  $eU/eTh$  da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.





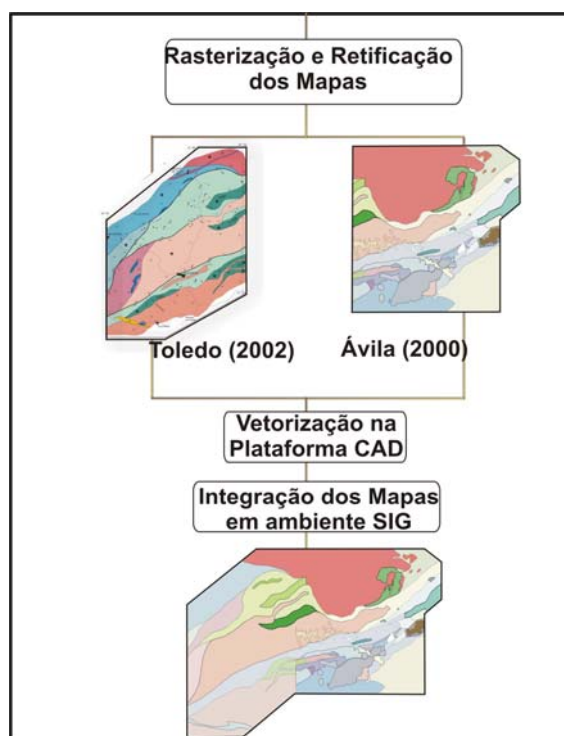
**Figura III.15** – Mapa da razão dos canais de eTh/K da área de estudo. Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m.. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.





### III.3.1 – Vetorização e Integração dos Mapas Geológicos

Os mapas geológicos na escala 1:50.000 da área piloto (Ávila 2000 e Toledo 2002), foram rasterizados usando o scanner de rolo (COLORTRAC 380'0e), e em seguida foram retificados utilizando-se o software Er-Mapper® (Versão 7.0). Posteriormente, os mapas foram vetorizados em plataforma CAD (AutoCAD Versão 2005) e integrados em ambiente SIG (ArcMap 9.0 ESRI) (Figura III.16).



**Figura III.16** – Fluxograma indicando as principais etapas para vetorização e integração dos mapas geológicos de Ávila (2000) e Toledo (2002).

### III.3.2–Análise das imagens *LANDSAT 7 -ETM+*

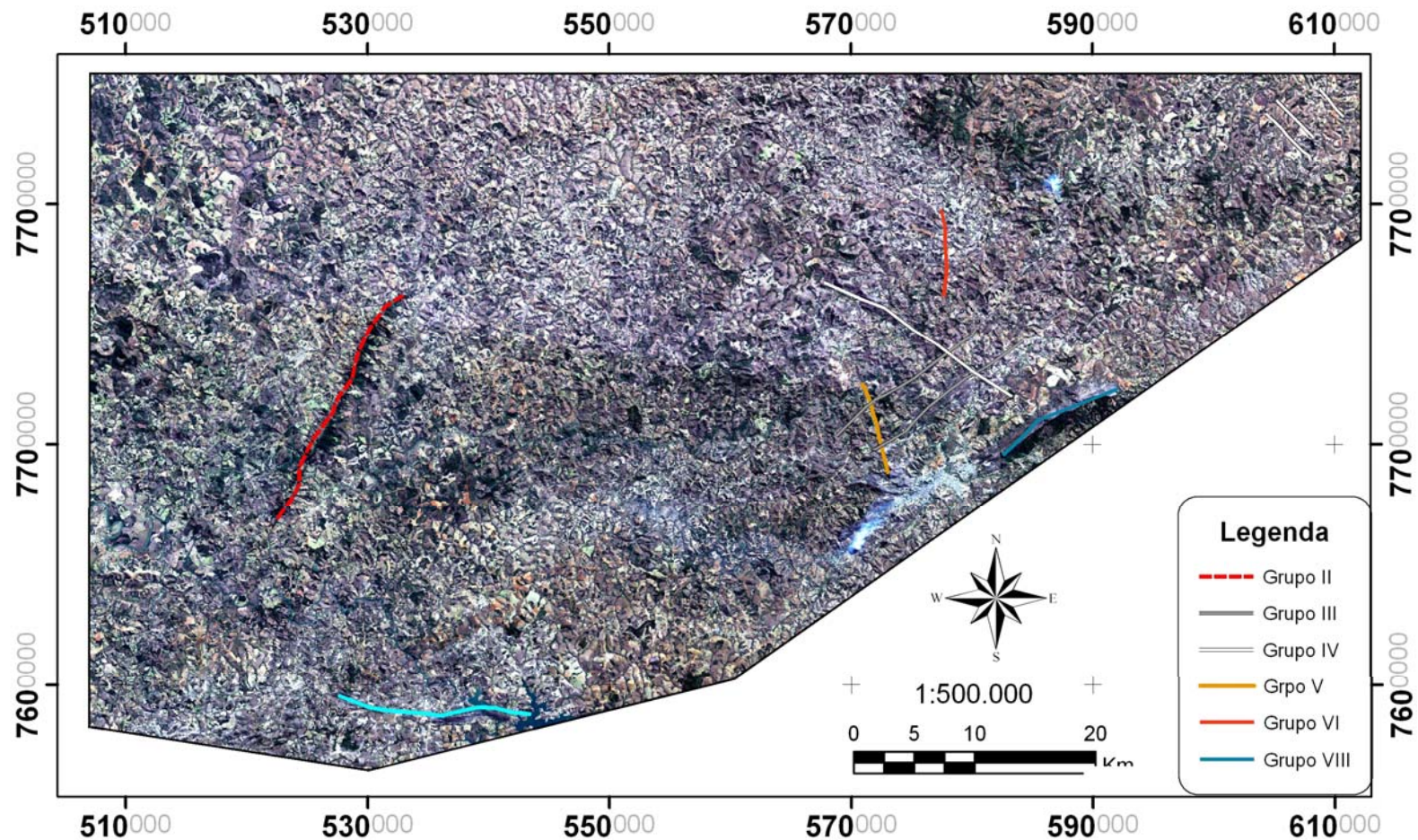
Na composição **R3 G2 B1 I** (modelo digital de terreno), os melhores resultados foram para a extração de lineamentos. A variação textural obtida, pouco contribuiu para a demarcação da forma e limites das unidades geológicas estudadas.

Os lineamentos identificados na área de estudo a partir da imagem *Landasat* foram nomeados no mesmo padrão que aqueles interpretados nos dados geofísicos. Segue abaixo a descrição dos seis grupos identificados (figura III.17): - O **Grupo II** apresenta direção NNE-SW e ocorre apenas na porção oeste. - O **Grupo III** são lineamentos de direção NE-SW expressivos principalmente no sudeste. O **Grupo IV** apresenta orientação NW e



ocorrem na parte leste. **Os Grupos V e VI** ocorrem na parte sul da área e estão orientados na direção NNW e NNE, respectivamente. O **Grupo VII** ocorre na parte sul da área e apresentam direção NE.





**Figurura III.17** – Expressão dos lineamentos interpretados na imagem Landsat (Composição colorida RGBi 321 i= Modelo digital de terreno) sensor ETM+/Landsat 7- Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23S.



### III.3.3 – Análise dos Modelos Digitais de Elevação

*O modelo digital de elevação (MDT) do aerolevante Pitangui -São João Del Rei – Ipatinga* foi gerado a partir de um sistema de GPS SERCEL, com receptor SERCEL NR-103 de 10 canais. As informações de posicionamento são processadas pelo sistema de aquisição de dados GEODAS, ficando disponíveis através do indicador analógico e da tela de navegação do sistema GEODAS. As coordenadas (latitude/longitude/altitude) de cada ponto foram obtidas com auxílio do sistema de navegação GPS Picodas/ NovAtel/Racal e foram armazenadas no disco rígido do sistema de aquisição de dados GEODAS (Lasa 2001). A resolução do *grid* da imagem utilizada para a confecção do modelo digital de terreno apresenta a mesma resolução espacial dos dados magnéticos e aerogamaespectrométricos obtidos no levantamento (62,5 m x 62,5 m) (Figura III.18).

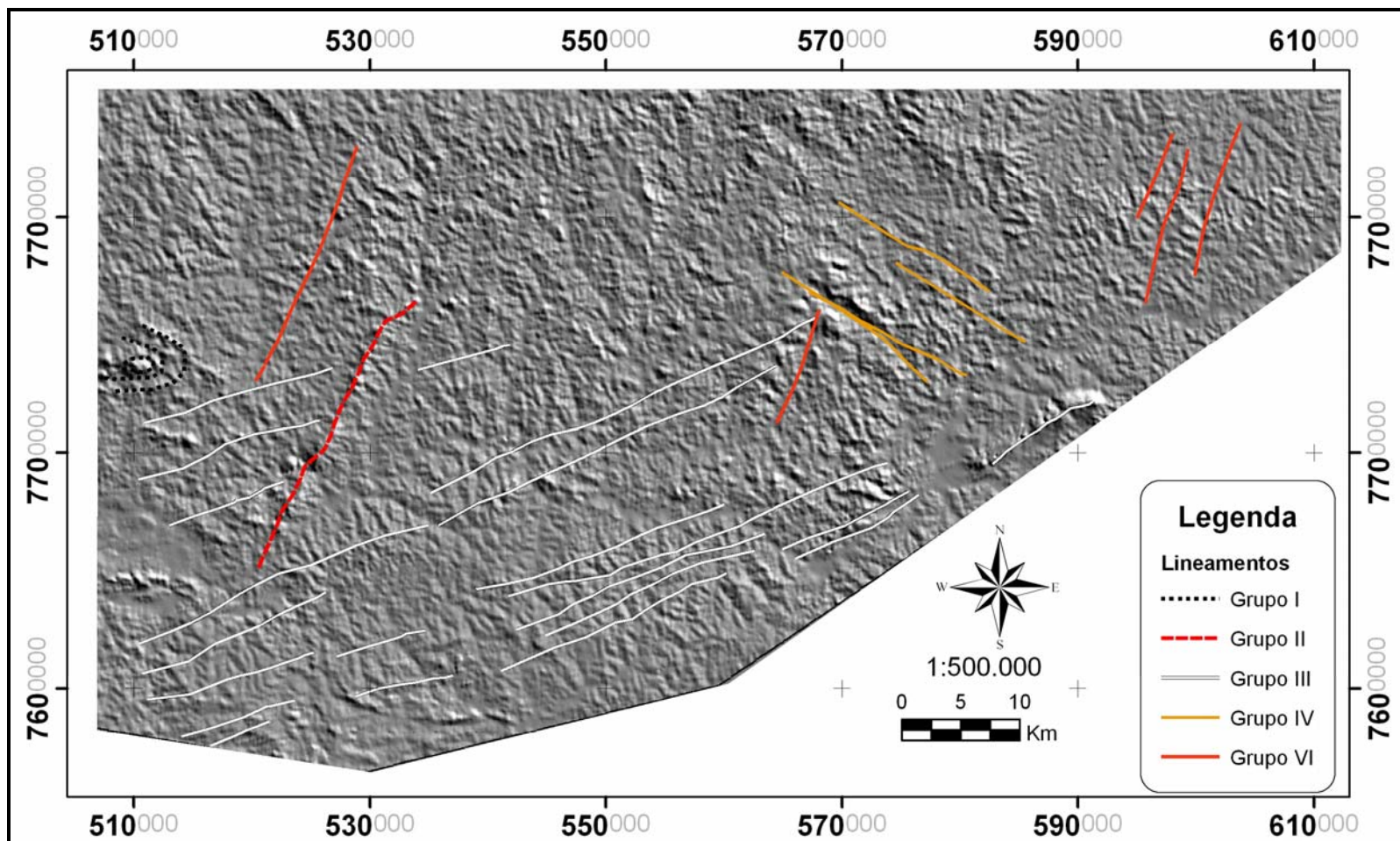
*O Modelo Digital de Elevação Gerado pelo SRTM* foi gerado a partir do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com o Radar Banda C. O processamento inicial destes dados teve uma resolução de 1" x 1" lat/long (~30 x 30m) e foram reamostrados para 3" x 3" lat/long (~90 x 90 m) (Souza-Filho 2005). Para a elaboração do modelo digital de terreno da área de estudo utilizou-se as cenas S21W043, S21W044, SC22W044, SC21W045 e SC22W045 (resolução espacial de ~90m), posteriormente mosaicadas no software ENVI-SULSOFT 4.0. O modelo digital de terreno foi sombreado utilizando-se o atributo de visualização Hill Shade (ENVI 4.0) que cria um relevo sombreado a partir de um arquivo MDT em duas dimensões. A imagem resultante (Figura III.19) foi integrada e analisada em conjunto com dados aerogeofísicos em ambiente SIG.

Os modelos digitais foram incorporados à interpretação com intuito de auxiliar na extração dos lineamentos estruturais, por vezes, não observados nos produtos geofísicos. Os lineamentos interpretados correspondem as principais direções observadas tanto no modelo gerado a partir aerolevante geofísico quanto pelo SRTM e serão descritos juntos.

O **Grupo I** são lineamentos curvilíneos identificados na porção oeste. O **Grupo II** apresenta direção NE-SW e constitui a feição morfo-estrutural mais proeminentemente ressaltada nos modelos digitais. O **Grupo III** apresenta direção NE-SW e ocorrem ao longo

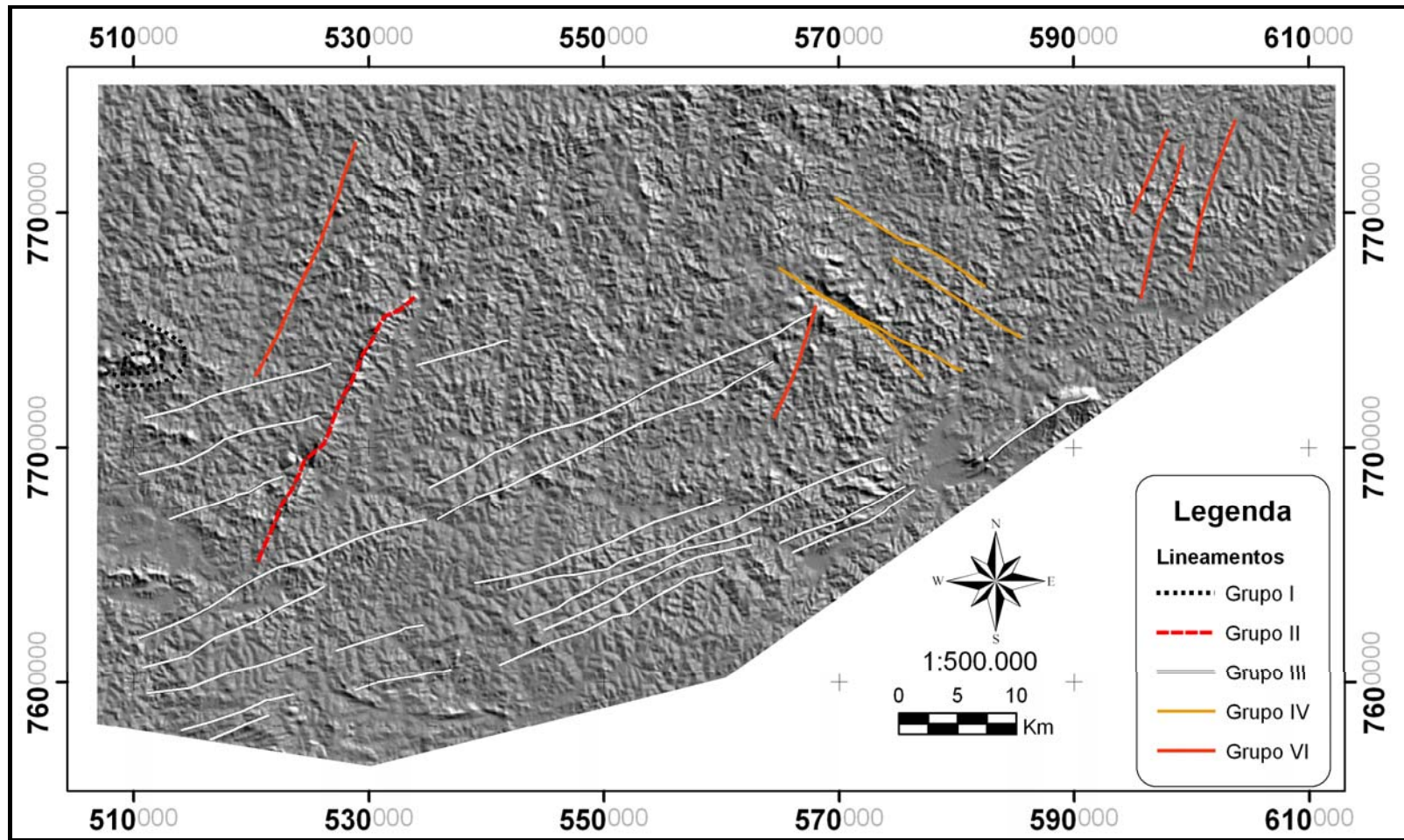
de toda a área de estudo. O **Grupo IV** são de direção NW e ocorrem principalmente na parte leste. O **Grupo VI** está distribuído no extremo oeste e leste segundo a direção NNE.





**Figura III.18** – Expressão dos lineamentos extraídos a partir Modelo digital de terreno gerado no aerolevantamento do Projeto Pitangui- São João Del Rei-Ipatinga: Resolução espacial 62,5 m x 62,5 m. Sombreamento: azimute de iluminação de 45° e elevação de 45°. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.





**Figura III.19** – Expressão dos lineamentos extraídos a partir do Modelo digital de terreno SRTM: Resolução espacial 90 m x 90 m. Sombreamento: azimute de iluminação de 45° e elevação de 45°. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



### III.4 – INTERPRETAÇÃO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS E GERAÇÃO DO MAPA LITOGEOFÍSICO EM AMBIENTE SIG

#### III.4.1 – Domínios Magnéticos e Estruturais

A amplitude do sinal analítico foi utilizada para a interpretação de estruturas e de domínios magnéticos. As derivadas horizontais e vertical auxiliou principalmente na demarcação de bordas e contatos dos corpos estudados. Os critérios utilizados para a interpretação de estruturas e de domínios magnéticos seguem aqueles propostos por Isles *et al.* (1994).

A primeira etapa consiste da elaboração de um “esqueleto” que contenha lineamentos e domínios magnéticos sem prévia interpretação. Esta interpretação seguiu as seguintes etapas: **1)** analisar, primeiro, estruturas mais jovens; **2)** analisar áreas mais simples; **3)** entendimento do contexto regional; **4)** consultar e reconsultar a estratigrafia da área; **5)** utilizar exemplos específicos para reconhecer elementos estruturais e relação de corte e sobreposição.

Os critérios mencionados foram aplicados inicialmente nos dados magnéticos em meio analógico, como já apontado anteriormente nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. A interpretação final foi elaborada em meio digital na escalas 1:100.000.

Os domínios magnéticos também foram interpretados utilizando a metodologia proposta por Isles *et al.* (1994), adaptada para regiões de baixas latitudes magnéticas segundo Silva (Comunicação Escrita). A partir dos produtos magnéticos, foram mapeadas as unidades com alta, média e baixa amplitude do sinal analítico, bem como as diferenças texturais observadas nos mapas de derivadas. A primeira unidade é marcada por corpos poucos espessos de direção NW e NNW dos produtos supramencionados e correspondem pela assinatura dos enxame de diques máficos. Na direção NE observa-se uma unidade com alta amplitude e alto gradiente, marcada pela presença de formações ferríferas paleoproterozóicas atribuídas ao Supergrupo Minas. As unidades com baixa amplitude e baixo gradiente magnético estão distribuídas em faixas alongadas na direção NE/SW e referem-se a assinatura dos corpos plutônicos félsicos a intermediários. Neste último grupo, enquadram-se também os TTG's que apresentam a mesma assinatura dos granitos (Figura III.20).

Os modelos digitais de terreno (Aerogeofísica e SRTM), como discutido no item III.3.3, forneceram informações complementares para a interpretação de lineamentos e domínios mapeados através dos dados aerogeofísicos. Auxiliando desta maneira, o refinamento dos resultados obtidos, bem como a interpretação dos lineamentos em direções paralelas às linhas de vôo no modelo digital gerado a partir do SRTM.

A partir dos resultados ilustrados de forma integrada no denominado mapa de lineamentos e domínios magnéticos (Figura III.20), interpretou-se sete tipos de lineamentos que serão descritos a seguir:

**Grupo I:** é composto por lineamentos curvilíneos, os quais, ocorrem nas porções noroeste, sul e leste da área. São caracterizados por apresentar alta amplitude do sinal Analítico (ASA). Nas derivadas horizontais e vertical, esse grupo apresenta um relevo bem acidentado, caracterizado por cristas de alto gradiente magnético. São interpretados como dobras apertadas com planos axiais aproximadamente E-W, ora sem raiz ou com flancos rompidos. No extremo sudeste da área, foi mapeada uma estrutura elíptica que não aflora em superfície, de alta amplitude no sinal analítico, situada abaixo da Serra de São José, situada na cidade de Tiradentes-MG;

**Grupo II:** são curvilíneos e ocorrem ao longo da porção central, noroeste e nordeste da área. Apresentam em geral na ASA, altas amplitudes e nas derivadas, alto gradiente magnético. Foram interpretados, em geral, como contatos entre unidades geológicas. Sejam dos corpos plutônicos, tais como: Cassiterita com a Faixa Nazareno e Ritópolis com a Faixa Rio das Mortes. Outra feição associada a este grupo é o lineamento da Serra de Bomsucesso (SBS), bem realçado nas derivadas e ASA. A SBS apresenta alta amplitude e alto gradiente magnético que estende-se por 30 km. Ainda neste grupo, observa-se dentro das faixas de *greenstone belts* uma assinatura de alta amplitude, provavelmente relacionada as rochas vulcânicas máficas;

**Grupo III:** este grupo reúne lineamentos descontínuos de orientação NE-SW e estão distribuídos em toda área de estudo. Na ASA, esses lineamentos são pouco realçados, pois a sua direção preferencial é a mesma da linha de vôo (tópico III.3.1). Por vezes, apresentam certa expressão de alto gradiente e alta frequência. Os melhores resultados podem ser visualizados nas imagens de derivadas vertical e horizontal e nos modelos digitais de terreno (Figuras III.18 e 19). Essas feições foram interpretadas como os produtos

principais da deformação do CM, aqui relacionados com a foliação paleoproterozóica penetrativa nos litotipos deste segmento;

**Grupo IV:** estes segmentos localizam-se na porção norte e noroeste da área e cortam todas as feições pretéritas. Ocorrem na direção preferencial N 70°W com uma média de 30 km de extensão. Apresentam na ASA e nas derivadas, altas amplitudes e alto gradiente magnético respectivamente. Nos modelos digitais de terreno também encontram-se realçados;

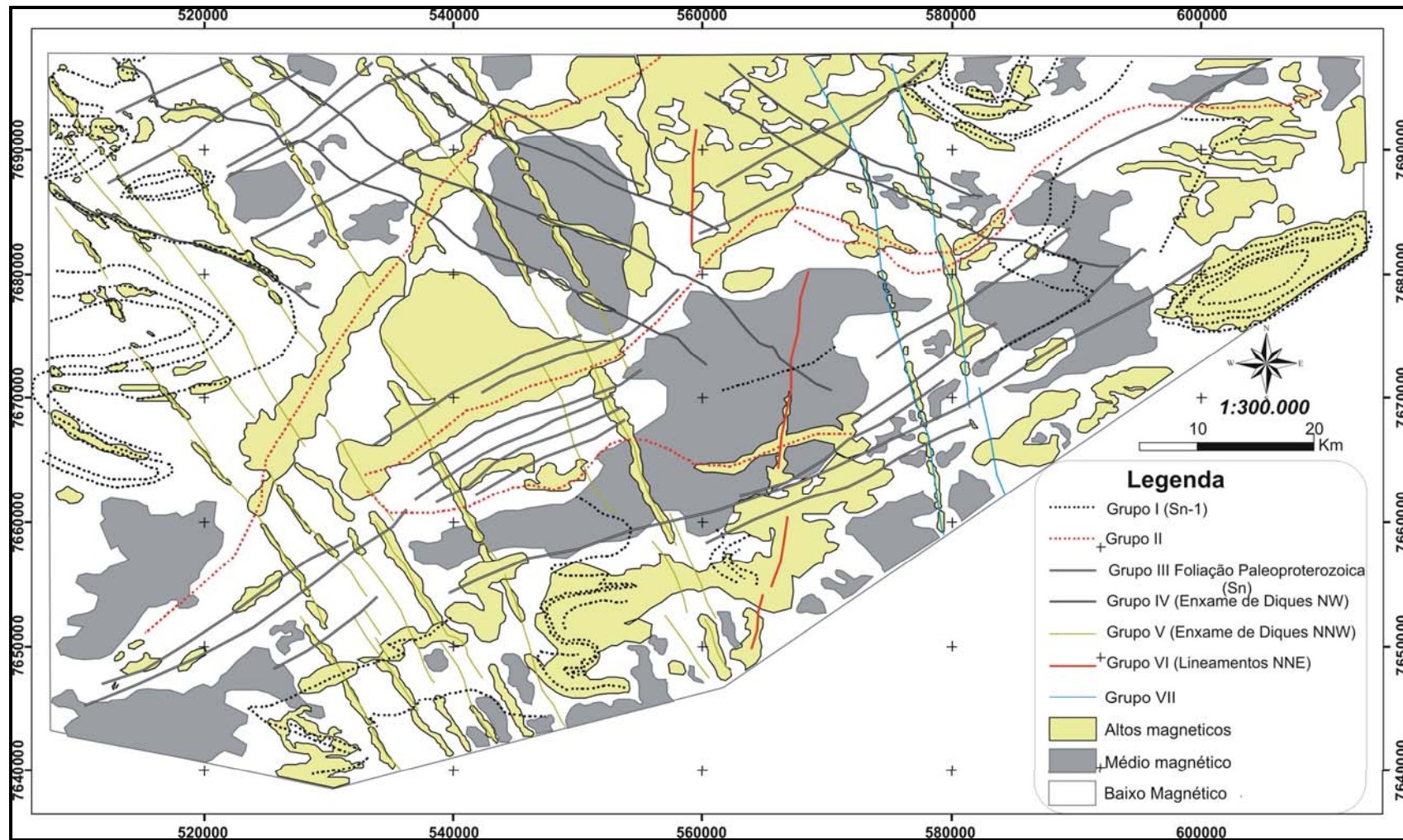
**Grupo V:** estas estruturas ocorrem esparsamente distribuídas na área, e variam em média de 8 a 15 km de extensão com direção de N30°W. São reconhecidos na amplitude do sinal analítico, por apresentar picos magnéticos e texturas ressaltadas nas derivada vertical e do gradiente horizontal total.

**Grupo VI:** este grupo de feições é um dos mais restritos na área. Formam lineamentos descontínuos de direção NS, com 9 km de extensão em média. Este grupo apresenta médias amplitudes e médio gradiente magnético em relação as outras estruturas. Nos modelos digitais de terreno, esses lineamentos são realçados e foram identificados por quebra de relevo;

**Grupo VII:** estas estruturas ocorrem restritamente na porção leste da área. Apresentam direção N 10°W variam em extensão de 25 a 30 Km. Em relação aos outros lineamentos suas assinaturas magnéticas são mais suaves (médias amplitudes e médio gradiente magnético).







**Figura III.20** – O mapa apresenta os domínios magnéticos e estruturais interpretados a partir dos produtos derivados dos dados aerogeofísicos. Os domínios e estruturas foram interpretados baseados nos princípios de interpretação propostas por *Isles et al.* (1994). Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



### III.4.2 – Domínios Gamaespectrométricos

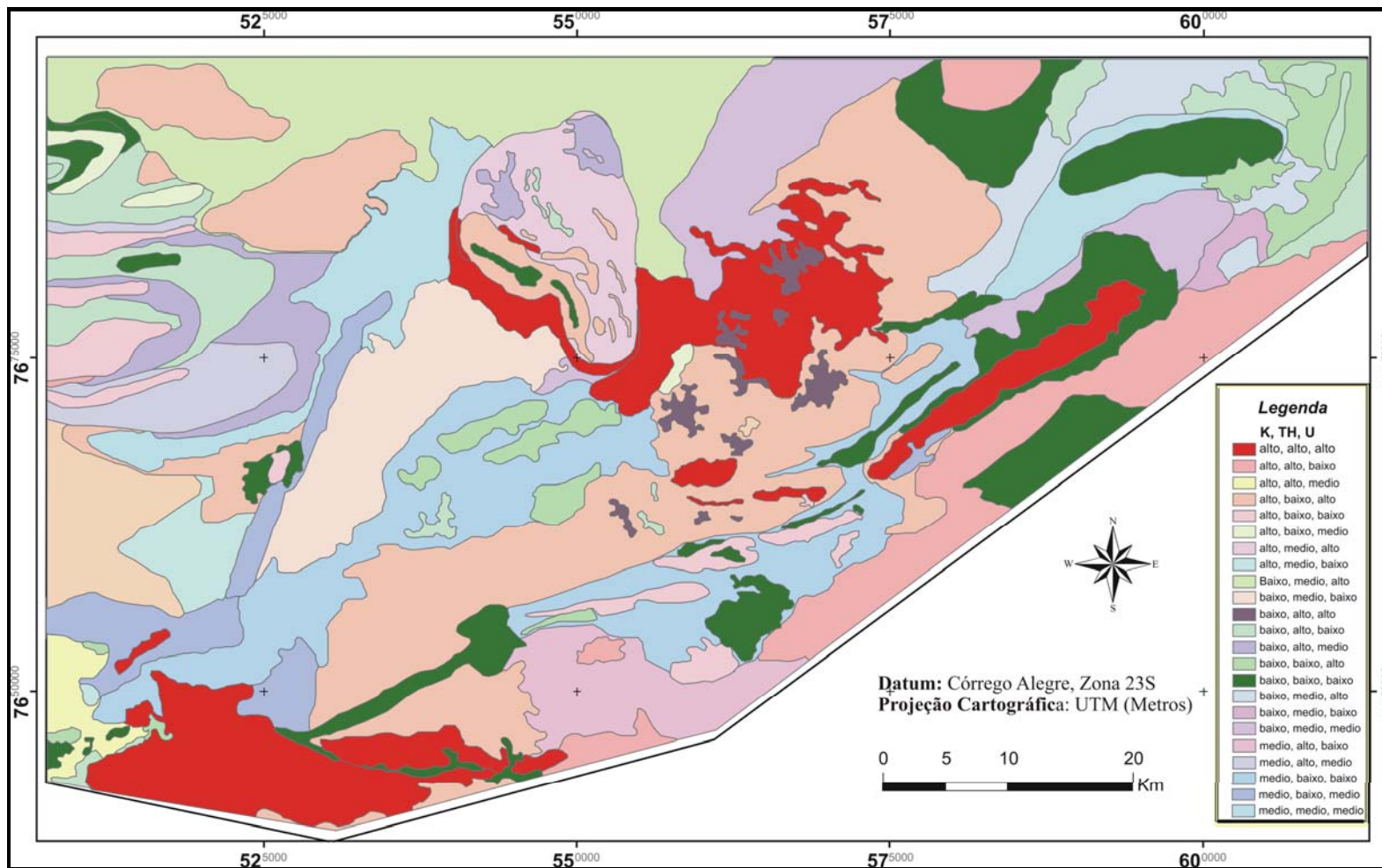
Nesta etapa foram analisados os canais contagem total, canal de K, eTh e eU, composições coloridas ternárias em falsa cor RGB e CMY, bem como as razões eU/eTh, eTh/K e eU/K.

A análise destes dados foi efetuada inicialmente utilizando-se a classificação hierárquica do ESRI-ArcView™ 3.2 denominada de *Habitat Digitizer*. A extensão *habitat digitizer* (do ESRI-ArcView™ 3.2) é de domínio público e foi criada com o objetivo de classificar hierarquicamente polígonos delineados pela interpretação visual de imagens georreferenciadas. Desta forma, a extensão permite criar esquemas de classificação eficientes e delinear as características dos polígonos/áreas de interesse (Silva *et al.* 2003). Baseado nesta premissa, desenvolveu-se um esquema de classificação hierárquica para a interpretação visual de imagens gamaespectrométricas levando-se em conta a variação dos teores de K, eTh e eU, dividida em três categorias em: baixo, médio e alto.

Essas variações foram observadas nos canais individuais bem como, nas composições coloridas RGB e CMY, como já mencionado. Posteriormente, os contatos foram refinados no ArcGIS 9.0 (ESRI) utilizando-se também as razões.

O resultado da interpretação de todos os produtos gamaespectrométricos, podem ser observados no mapa litogeofísico (Figura III.21). Foram mapeadas 23 unidades gamaespectrométricas representadas através das 23 classes que mostram a variação dos teores dos radioelementos K, eTh e eU na área estudada. A interpretação destes resultados é apresentada de forma integrada no item III.6.





**Figura III.21** – Mapa ilustrando os domínios gamaespectrométricos baseados na interpretação visual de imagens gamaespectrométricas levando-se em conta a variação dos teores de K, eTh e eU, dividida em três categorias em: baixo, médio e alto. Foram mapeadas 23 unidades gamaespectrométricas representadas através das 23 classes que mostram a variação dos teores dos radioelementos K, eTh e eU na área estudada. Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



### III.5 – CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA APLICADA AOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS

A técnica de classificação não-supervisionada é muito utilizada quando se deseja definir automaticamente grupos de *pixel* de uma imagem, sem influência do conhecimento prévio da área. Este método pode ser aplicado a qualquer imagem, cuja finalidade seja agrupar *pixels* com níveis de cinza distintos, facilitando a extração de informações de maneira prática e concisa. Existem vários tipos de algoritmos de classificação não supervisionada. Na área de geologia, os mais utilizados são o ISODATA e a média K. O primeiro foi o adotado neste trabalho devido aos seus melhores resultados. O algoritmo ISODATA (*Interactive Self-Organizing Data Analysis Technique*) consiste de uma técnica de identificação de padrões típicos nos níveis de cinza. Cada classe é definida por de análise de agrupamentos (“*cluster analysis*”) Schowengerdt (1997).

O algoritmo ISODATA do *software* ErMapper 7.0 foi aplicado nos canais de K, eTh e eU com o objetivo de comparar os resultados com os da análise qualitativa resultante da classificação do *Habitat Digitizer* e auxiliar no refinamento do mapa litogeofísico. Primeiramente, os grids de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm), foram convertidos para imagens do tipo 8-bits (0 a 255), utilizando-se o *software* Geosoft-Oasis Montaj 5.1.8 e *software* ErMapper<sup>®</sup> (Versão 7.0). O algoritmo foi aplicado variando-se o número de classes (4, 6, 10, e 22) para 1000 interações. O melhor resultado obtido foi para 22 classes e 1000 interações (Tabela III.1).

Após a classificação, efetuou-se uma análise das classes de distribuição de K, eTh e eU. Com o intuito de reclassificar os dados obtidos e comparar com a classificação qualitativa, as classes resultantes foram divididas em três categorias, a saber: baixo, médio e alto. A primeira categoria varia de 0 a 85, a segunda 85 a 170 e a última categoria de 170 a 255 (Figura III.22). As vinte e duas classes foram, portanto, reagrupadas em quatorze classes (Tabela III.2). Os critérios utilizados para o reagrupamento foram a proximidade de valores de níveis de cinza nos canais individuais e complexidade geológica da área.

Com os resultados pode-se observar que a classificação não supervisionada aplicada aos dados gamaespectrométricos (K, eTh e eU), individualizou os principais domínios litológicos (Figura III.23), tal como observado na classificação hierárquica utilizando a extensão do *Habitat Digitizer*. A tabela III. 2 apresenta os resultados obtidos nas duas

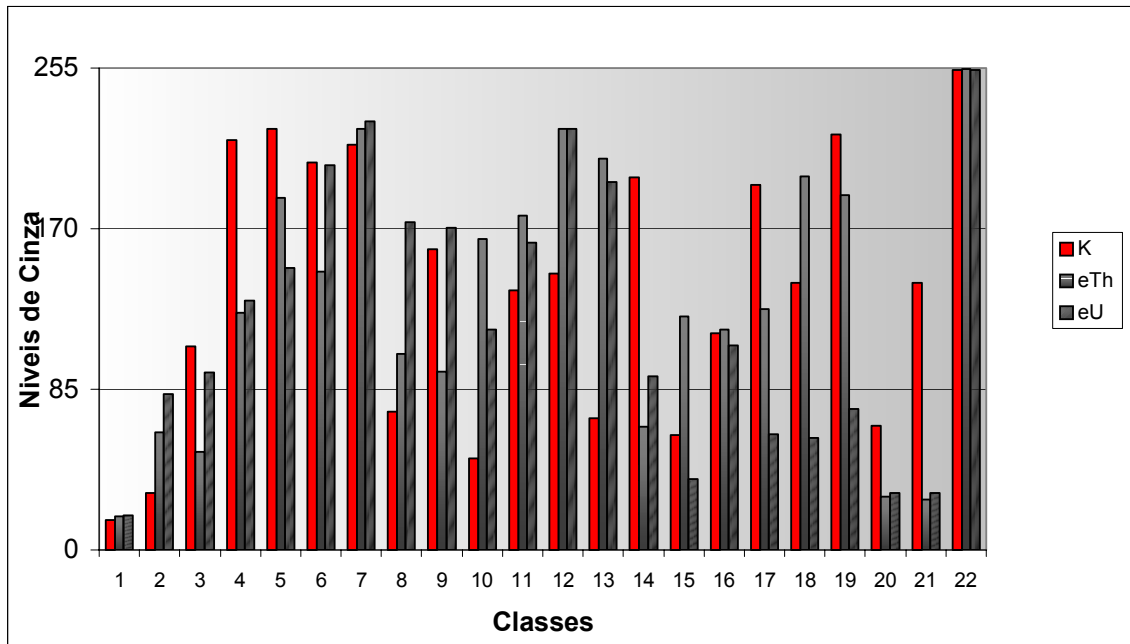
classificações (qualitativa e quantitativa), bem como a correlação com as unidades litoestratigráficas. Interessante ressaltar que o número de classes obtidos na classificação visual é semelhante ao alcançado nesta classificação.

Observou-se alguns contrastes entre as duas classificações, ou seja, nem sempre os valores atribuídos na classificação visual, correspondem a faixa de valores (baixo, médio e alto) determinadas na classificação não supervisionada. Tal diferença é atribuída à eficácia do algoritmo ISODATA em identificar variações sutis ao olho nú, o que facilitou mapear as variações composicionais dentro dos corpos.

**Tabela III.1** – Média da distribuição de  $K$ ,  $eTh$  e  $eU$  das vinte e duas classes resultantes da aplicação do algoritmo de classificação não-supervisionada ISODATA.

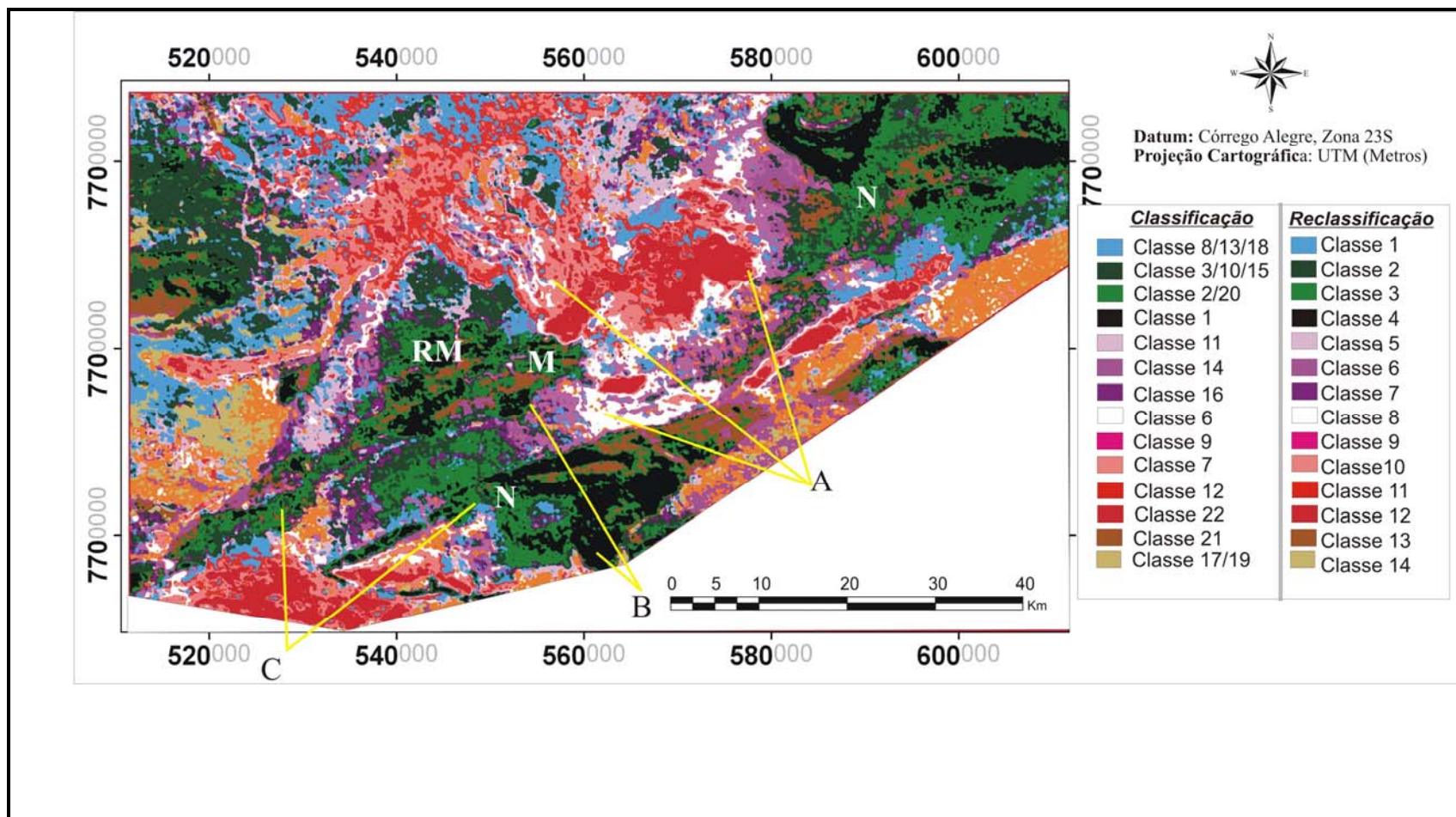
<b>Classe</b>	<b><math>K</math></b>	<b><math>eTh</math></b>	<b><math>eU</math></b>
1	15,706	17,64	18,41
2	30,076	62,24	82,48
3	107,958	51,94	93,78
4	217,029	125,72	132,06
5	222,847	186,50	149,13
6	205,256	147,03	203,68
7	214,431	222,63	226,80
8	73,159	103,73	173,47
9	159,259	94,45	170,42
10	48,204	164,46	116,69
11	137,371	176,78	162,46
12	146,117	223,03	222,67
13	69,769	207,11	194,64
14	197,147	65,23	91,78
15	60,540	123,71	37,49
16	114,592	116,67	108,16
17	193,462	127,45	61,13
18	141,487	197,79	59,21
19	219,826	187,75	74,81
20	65,769	28,28	30,07
21	141,515	26,84	30,28
22	254,179	254,33	254,25





**Figura III.22**– Gráfico de distribuição de K, eTh e eU das vinte e duas classes resultantes da aplicação do algoritmo de classificação não supervisionada ISODATA.





**Figura III.23** – Mapa de reclassificação da classificação não supervisionada utilizando o algoritmo ISODATA, aplicado aos dados gamaespectrométricos (RGB KThU). Observa-se os principais litotipos mapeados, dentre eles os corpos plutônicos félsicos (A), máficos a ultramáficos (B), bem como as faixas do tipo greenstone belts Nazareno (N) e Rio das Mortes (RM). Datum Córrego Alegre, Zona UTM 23 S.



**Tabela III.2** – A tabela compara os resultados obtidos na reclassificação ISODATA, classificação do *habitat digitizer* e correlação com as unidades litoestratigráficas: 1- Toledo (2002); 2- Valença *et al.* (2000); 3 – Quéméneur (1989); 4- Ávila (2000); 5 – Chermam (2004) e 6 - Ribeiro *et al.* (1995).

Classes Finais	Classificação Qualitativa (Visual)	Média Recalculada (Valores de 8Bits – 0 a 255)			Classes reagrupadas	<i>Interpolação com os dados geológicos disponíveis na literatura</i>	
	<i>Habitat Digitizer</i>	K	eTh	eU		Descrição das características mapeadas	Unidades conhecidas (ANEXO I)
1	Alto K, Médio eTh, baixo eU	94,805	169,543	142,44	8,13 e 18	Gnaisses	TTG's
2	Médio K, baixo eTh, Baixo eU	72.234	113.371	8265	3,10 e 15	<i>Platôs (?)</i> ricos em eTh	Faixa Rio das Mortes (1) Faixa Nazareno (1)
3	Médio K, Baixo eTh, Baixo eU	67,93	47,49	68,78	2 e 20	<i>Dominios</i> com baixos teores em radioelementos	Faixa Rio das Mortes (1) Faixa Nazareno (1)
4	Baixo K, Baixo eTh, Baixo eU	15,706	17,64	18,41	1	Rochas Máficas	Corpos Máficos (1): Manuel Inácio, Forro, Rio Grande e Rio dos Peixes. Gabro São Sebastião da Vitória (2).
5	Alto K, Alto eTh e Baixo eU	137,371	176,78	162,46	11	Variação interna de radioelementos em Tonalitos e Dioritos	Tabuões (3)
6	Alto K, Alto eTh e eU baixo.	197,147	65,23	91,78	14	Variação interna de radioelementos em Tonalitos e Dioritos	Trondhjemito Cassiterita (4)
7	Médio K, Médio eTh, Médio eU	114,592	116,67	108,16	16	Tonalitos ricos em eU	Trondhjemito Cassiterita (4) Super Grupo Minas (Serra de BomSucesso – 3).
8	Alto K, Médio eTh, Médio eU	205,256	147,03	203,68	6	Rochas com teores intermediários de K	Trondhjemito Cassiterita - Metossamatismo potássico (4).
9	Alto K, Alto eTh e, eU baixo.	159,259	94,45	170,42	9	Variação interna de radioelementos em Tonalitos e Dioritos	Trondhjemito Cassiterita (4), Porções São Tiago
10	Alto K, Alto eTh, e Alto eU	214,431	222,63	226,80	7	Variação interna de radioelementos em Granitos e Granodioritos	Ritápolis(4), Itutinga e Itumirim (5)
11	Alto K, Alto eTh, e Médio eU	146,117	223,03	222,67	12	Variação interna de radioelementos em Granitos e Granodioritos	Ritápolis (4), Itutinga e Itumirim (5)
12	Alto K, Alto eTh, e Alto eU	254,179	254,33	254,25	22	Variação interna de radioelementos em Granitos e Granodioritos	Ritápolis (4), Itutinga e Itumirim (5)
13	Alto K, Alto eTh, e baixo eU	141,515	26,84	30,28	21	Andesitos	Meta-andesitos da Faixa Nazareno (4), andesitos da região
14	Alto K, Baixo eTh, e Alto eU	206.644	157.596	67.97	17 e 19	Rochas Metassedimentares	Bacias Proterozóicas: São João Del Rey e Carandaí (6)

### **III.6 – CORRELAÇÕES DOS DOMÍNIOS LITOGEOFÍSICOS E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS REGIONAIS**

A análise e interpretação dos dados geofísicos forneceu importantes informações sobre os conjuntos estruturais e litológicos da área estudada. Algumas assinaturas mapeadas na fase de interpretação, incluindo os lineamentos estruturais e unidades litológicas, foram analisadas em trabalho de campo. Nesta etapa, procurou-se reconhecer as assinaturas nas áreas mapeadas na escala 1:50.000 (Toledo 2002, Ávila 2000) e extrapolá-las para a área de estudo, onde o estágio de conhecimento cartográfico geológico era fragmentado. O trabalho de campo foi realizado numa campanha de dez (10) dias abarcando a região entre Bom-sucesso, Nazareno, Ijaci, Ritópolis, São João Del Rei, Rezende Costa e Conceição da Barra de Minas (Figura III.24).

Os dados obtidos foram correlacionados com informação disponível na literatura, e divididos em dois domínios lito-estruturais. Eles são caracterizados por associações litológicas e estruturais distintas, que também apresentam assinaturas magnéticas e gamaespectrométricas diferentes. O mais antigo, Núcleo Arqueano (NA), engloba uma assembléia de rochas do tipo TTG de idades arqueanas retrabalhadas no Paleoproterozóico e o Cinturão Mineiro (CM), o qual é constituído por corpos plutônicos de idade paleoproterozóica, conforme já apresentado. As descrições destas unidades seguem abaixo.

#### **III.6.1 - Domínio Geológico I**

Este domínio está compreendido entre as cidades de Ijaci, Bom-sucesso e Santo Antônio do Amparo (ANEXO I). O primeiro domínio reúne rochas correlacionáveis aos terrenos arqueanos graníticos-gnaíssicos e as seqüências metassedimentares paleoproterozóicas. Este domínio é caracterizado na gamaespectrometria por seis grupos principais de assinaturas.

**Grupo I:** localiza-se na porção extremo oeste deste domínio, e está associado a rochas que se alternam entre assinaturas moderadamente ricas em K, eTh eU, intercaladas a rochas ricas em Th. Este grupo possui uma estruturação de caráter dúctil, expressa em dobras com direção plano axial aproximadamente E-W. Em trabalhos de campo, observa-se

que estas assinaturas estão relacionadas a uma associação de granitos e charnockitos. Os granitos estão fortemente foliados e por vezes são cortados por diques máficos (Figura III.25. A e B). Os charnockitos também encontram-se deformados, no entanto, em alguns afloramentos pode-se observar feições ígneas preservadas.

**Grupo II:** compreende unidades graníticas de assinatura alto K e alto eTh, interpretados como Granito Bonsucesso. Essas rochas ocorrem distribuídas em três corpos, cujo corpo principal se localiza próximo à cidade de Bonsucesso.

**Grupo III:** refere-se às rochas metassedimentares relacionadas ao Supergrupo Minas, da Serra de Bonsucesso (Figura III.25 C). Estas litologias apresentam uma forte orientação NNE, caracterizadas na gamaespectrometria por assinaturas de médio K, alto eTh e na amplitude do sinal analítico, apresentam um alto gradiente magnético. Esta feição está realçada em todos os produtos analisados e corresponde ao limite entre o Cinturão Mineiro e o Núcleo arqueano.

**Grupo IV:** está relacionado a uma unidade descrita por Quéméneur *et al.* (2002) como granito peraluminoso gnaissificado, denominado pelo referido autor de Capela São Francisco (Figura III.25 D). Em campo essas rochas apresentam uma forte foliação de direção N90°E/90°NW.

**Grupo V:** apresenta uma assinatura radiométrica de baixo K, alto eTh e alto eU, correspondente aos sedimentos proterozóicos da Bacia Ijaci correlacionáveis ao ciclo deposicional Carandaí.

**Grupo VI:** está relacionado aos TTG's que ocorrem na porção sul da área de estudo, cuja assinatura radiométrica é alto K, alto eTh e alto eU. Os afloramentos deste grupo ocorrem próximos à cidade de Ijaci e podem estar relacionados ao complexo metamórfico Campo Belo.

### **III.6.1 - Domínio Geológico II**

Este domínio está relacionado ao segmento crustal denominado, Cinturão Mineiro. As litologias que compõem este segmento são facilmente identificados nos produtos gamespectrométrico, em especial nas composições ternárias, RGB (KThU) e CMY (KThU). As unidades abaixo individualizadas constituem uma das contribuições para o entendimento dos limites do Cinturão Mineiro, sob a ótica de Teixeira (1985).

Em geral as unidades pertencentes ao Domínio Geológico II, apresentam uma característica particular nos dados radiométricos, ou seja, estão regidos por uma forte estruturação regional de orientação NE/SW. As assinaturas radiométricas destas rochas, individualizam a diversidade composicional dos corpos do Cinturão Mineiro, os quais foram descritos em quatro grupos. Ressalta-se que os nomes das unidades mencionadas abaixo, seguem a nomenclatura existente na literatura, abordada no capítulo II.

**Grupo I:** seqüências do tipo *greenstone belts* arqueanas, mapeadas como rochas de baixas concentrações de K, eTh e eU, orientados segundo o *trend* NE-SW. Aqui entendido como as ocorrências das faixas Nazareno e Rio das Mortes (Figura III.26.A). A Faixa Nazareno está situada entre as cidades de Nazareno-Itumirim, cuja assinatura marcante permitiu extrapolá-la até as mediações de Lagoa Dourada.

Variações sutis nesta faixa, possibilitou mapear outras unidades, tais como, os meta-andesitos, cuja assinatura diferencia-se por apresentar alto K, baixo eTh e baixo eU e corpos máficos espacialmente associados à Faixa Nazareno como o corpo ultramáficos Rio Grande.

A Faixa Rio das Mortes é limitada pelo Tonalito Tabuões (Figura III.26.B) e o Trondhjemitó Cassiterita. Associadas a esta faixa foram mapeados corpos máficos intrusivos, Rio dos Peixes e Manuel Inácio;

**Grupo II:** caracteriza as litologias ricas em K, eTh e eU. Essas assinaturas foram interpretadas como os corpos de composição félsica, granitos *sensu strictu*. A este grupo integram-se os corpos Ritópolis (Figura IV.26.C), Itutinga e Itumirim (Figura III.26 D). Esses corpos têm em comum, além da assinatura principal que os individualiza das outras unidades, uma variação interna composicional. Essa variação é uniforme, e aumenta do centro para a borda. Tal variação será melhor abordada no capítulo seguinte. O Granito Ritópolis é intrusivo no embasamento granito-gnáissico, limitado a oeste pelo corpo São Tiago e a sul pelo corpo Cassiterita. Além das variações composicionais acima citada, o Ritópolis apresenta porções isoladas com assinaturas distintas. Estas feições, ricas em urânio, correspondem aos enclaves do embasamento TTG. O corpo Itumirim assemelha-se a de assinatura ao Ritópolis. Este corpo é limitado a leste pela Serra de Ouro Grosso, e a norte pela Faixa Rio das Mortes. Itutinga tem uma forma de cunha, e está limitado pela parte mais delgada da Faixa Nazareno, a norte pela serra de Ouro Grosso.



**Grupo III:** As assinaturas variam de alto K, alto eTh e médio eU a alto K, médio eTh e médio eU. Estas feições foram interpretadas como os granitóides de composição intermediária, tais como: dioritos, granodioritos, tonalitos e trondjemitos. A este grupo, reúnem-se os corpos Tabuões e Cassiterita. E um outro localizado na região homônima de Resende Costa. O Trondjhemito Cassiterita é intrusivo na Faixa Rio das Mortes e apresenta uma forma alongada, seguindo a direção NE/SW. Neste trabalho, o Trondjhemito Cassiterita foi extrapolado para regiões onde inclusive fora mapeado como corpo Ritápolis, que será melhor discutido no capítulo IV, pois, tal extrapolação fundamentou-se nas assinaturas geofísicas e no estudo da faciologia de ambos os corpos. Desta forma, o Cassiterita é aqui entendido como um corpo que varia em composição de tonalito, diorito a trondjhemito, ocorrendo numa extensão de 90 Km<sup>2</sup>. Em campo, este corpo é fortemente foliado, e apresenta uma série de enclaves que variam de xenólitos da Faixa Nazareno a xenólitos do embasamento TTG. Na sua borda sul, há uma intercalação de restos da Faixa Nazareno com as suas rochas, a qual, é referida na literatura como Dobra de Nazareno (Quéméneur *et al.* 2003). Intrusivo no Cassiterita, observa-se um corpo pequeno, mapeado anteriormente como Ritápolis, cuja assinatura é idêntica a ele. A cartografia do corpo Tabuões é um desafio, pois encontra-se muito intemperizado. Ele é limitado à oeste pela Serra de Bom Sucesso, leste pelo São Tiago e a sul pela Faixa Rio das Mortes. Em campo, são rochas fortemente foliadas, mapeadas geralmente em saprolitos de cortes de estradas;

**Grupo IV:** As assinaturas deste grupo são as que possuem menores valores de radioelementos (baixo K, baixo eTh eU baixo) e reúne várias unidades que a priori não apresentam relações genéticas entre si, descritas em ordem cronológica.

Os corpos Manuel Inácio e Rio dos Peixes, estão associados as faixas Rio das Mortes, Forro e Rio Grande à Faixa Nazareno. Outra unidade identificada é o Gabro São Sebastião da Vitória, cuja assinatura é idêntica gamaespectrométrica é idêntica.

Outra feição mapeada situa-se na região de Resende Costa, onde acredita-se estar associada à Faixa Rio das Mortes, extrapolada até a região de Lagoa Dourada.

### **III.6.2 – Domínios estruturais**

Na área de estudo pode se distinguir quatro grupos principais de estruturas.

**Grupo I:** é composto pelos lineamentos magnéticos descritos no Grupo 1 (tópicos III.3.2, III.3.3 e III.4.1), é caracterizado por uma deformação expressa por dobras

assimétricas, identificadas principalmente na amplitude do sinal analítico, derivadas horizontais, vertical e na composição ternária RGB. Os litotipos que são claramente afetados por esta deformação, ocorrem tanto o Domínio Geológico I, quanto nas faixas de *Greenstone Belts* e na região onde afloram os granitóides Itumirim e Itutinga do Domínio Geológico II. Ainda relacionado a estas feições, identificou-se uma estrutura elíptica nas derivadas verticais e horizontais, interpretada como uma dobra sem raiz, refletindo o embasamento recoberto pelas rochas metassedimentares da Serra de São José. Este grupo de feições são interpretadas como Sn-1, da mesma forma que Toledo (2002) e Chermam (2004).

**Grupo II:** compreende apenas uma feição do grupo de lineamentos 2. Apresenta uma direção NE/SW e sua assinatura é bem expressiva em todos os produtos magnéticos. Na ASA apresenta alta amplitude e nas derivadas alto gradiente magnético. Esta feição refere-se à zona de cisalhamento da Serra de Bom Sucesso. (Ver tópicos III.3.2, III.3.3 e III.4.1)

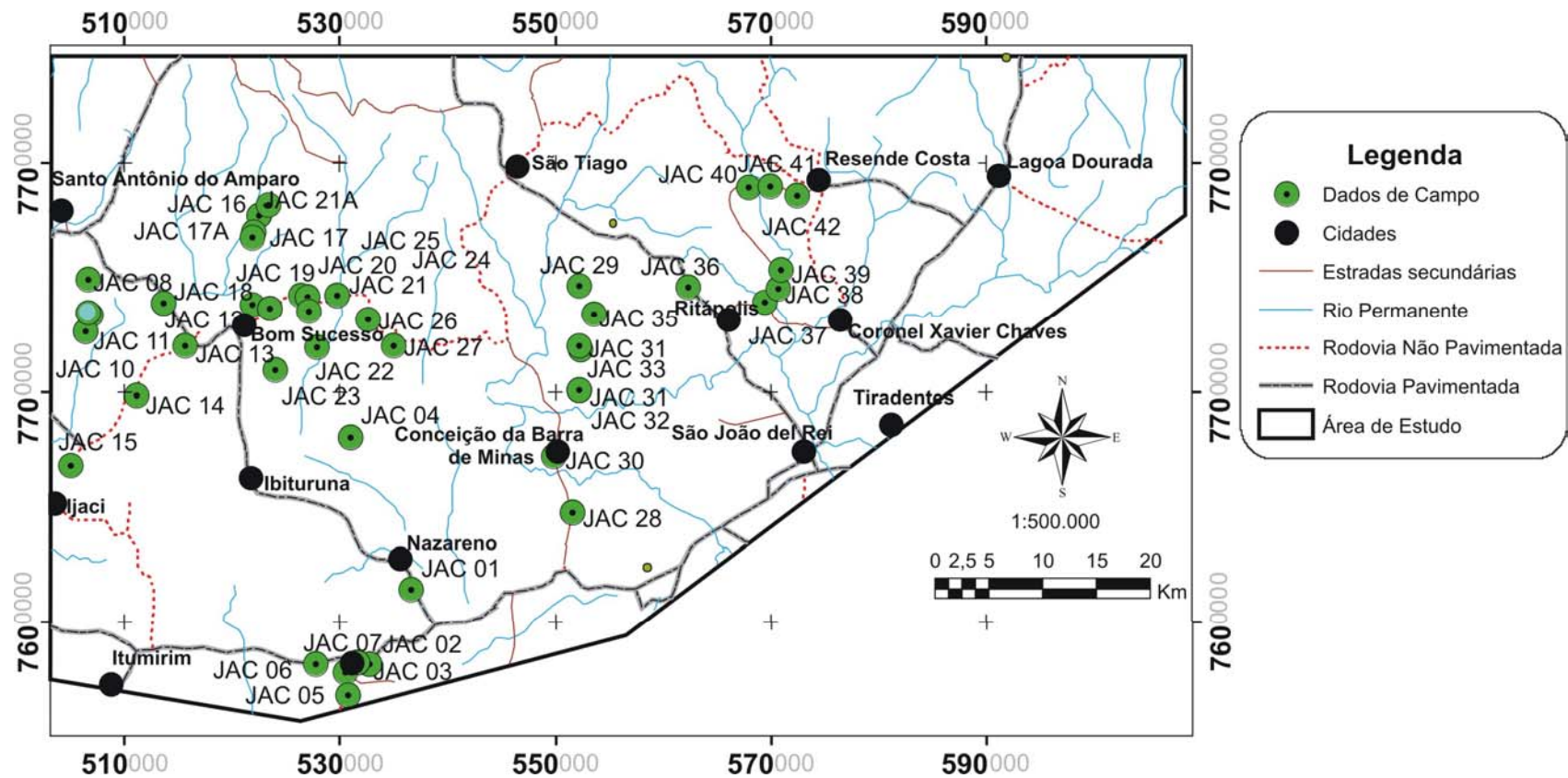
**Grupo III:** apresenta uma direção NE/SW, caracterizada principalmente nas derivadas verticais (Dz) e horizontais (Dx e Dy), referentes aos grupos de lineamentos 2 e 3 (Tópicos III.3.2, III.3.3 e III.4.1). Em campo, esses lineamentos são caracterizados por uma foliação penetrativa de direções variando de N30E/Subv a N30W/Subv e por falhas direcionais dextrais, como por exemplo a Falha Nazareno (Anexo I). Essa falha apresenta uma direção concordante com a foliação (Sn), apresentando mergulhos também de alto ângulo. Este grupo de feições (foliação e falhas direcionais) são interpretados como produtos principais da formação do Cinturão Mineiro, descritos na literatura por Toledo (2002), Ávila (2000) e Chermam (2004).

**Grupo IV:** referem-se aos lineamentos IV, V e VI (Tópicos III.3.2, III.3.3 e III.4.1) de direções N70°W, NS, N30°W e N10°W. Dentre esses lineamentos/unidades magnéticas, cabe ressaltar que aqueles de direção N30°W são os mais antigos e são cortados pelos lineamentos/unidades de direção N70°W. Esse grupo de estruturas/unidades quando analisadas nos produtos magnéticos mostram uma continuidade física dos diques máficos na região do Núcleo Arqueano, conforme descrito Silva *et al.* (2003). Pinese (1997) ao estudar o enxame de diques da região de Lavras também encontrou idades arqueanas de 2.658 ± 44 ma (Sm/Nd em rocha total) para os diques de direção NNW. Carneiro &

Oliveira (2005) através de dados  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  apontam duas idades de diques máficos uma de 1.7 Ga e outra de 0.9 Ga. A idade 1.7 Ga corrobora os dados obtidos por de Silva *et al.* (1995), os quais dataram diques nas adjacências do Quadrilátero Ferrífero utilizando o método U/Pb em badeleíta.

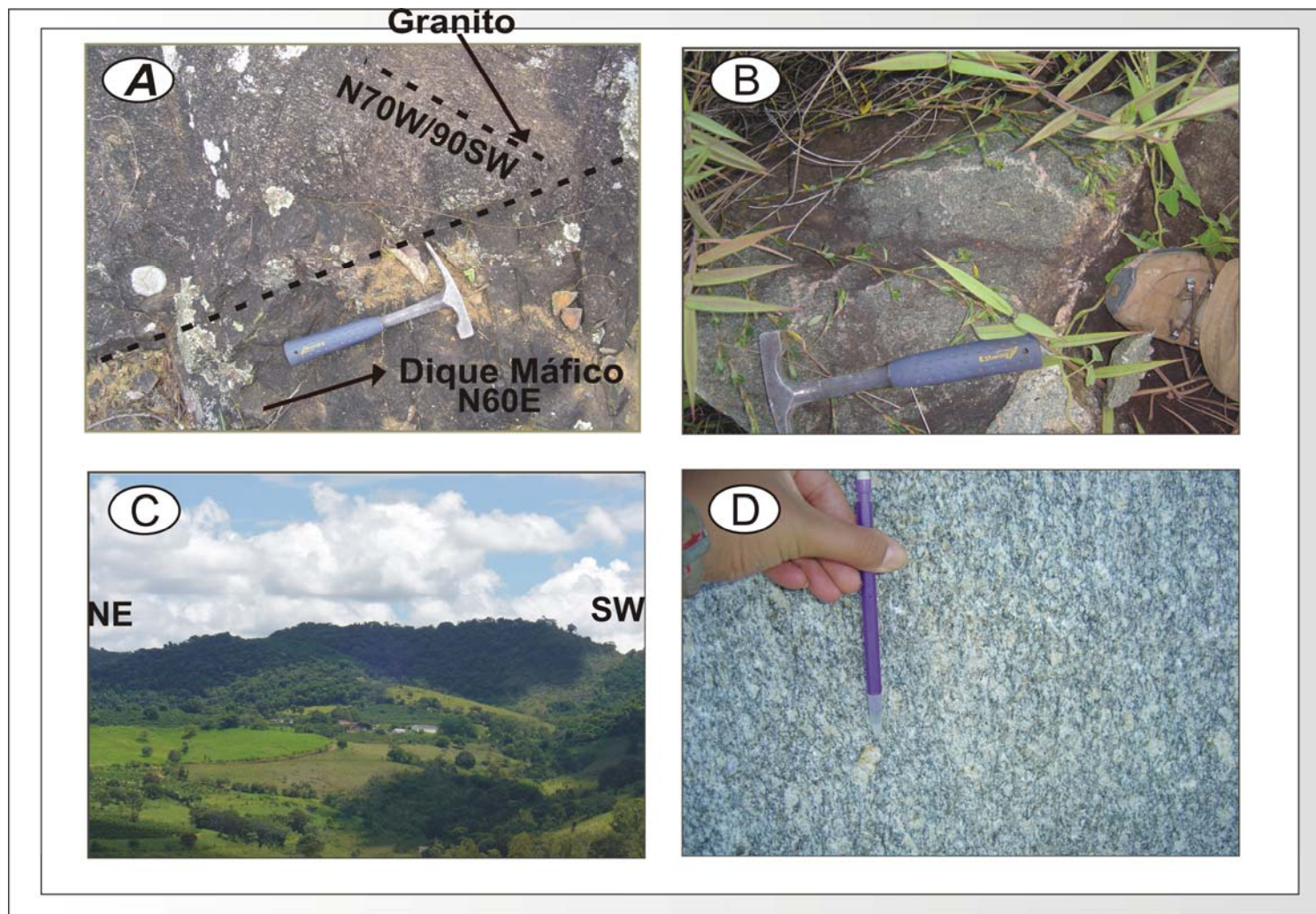
**Grupo VII:** para os lineamentos de direção NS, não se obteve relações mais claras com os dados previamente descritos na literatura. Contudo para as estruturas na direção N10°W que cortam apenas a megasseqüência São João Del Rei e Carandaí, parecem corresponder aos diques máficos descritos por Ribeiro *et al.* (1995) que seccionam somente as megasseqüências supracitadas, cuja idade é 1,8 e 1,3 Ga (Sm/Nd), respectivamente.





**Figura III.24** – Mapa de localização dos pontos descritos em trabalho de campo. Em cada ponto, foram descritas as anomalias aerogeofísicas, bem como o tipo de rocha aflorante;

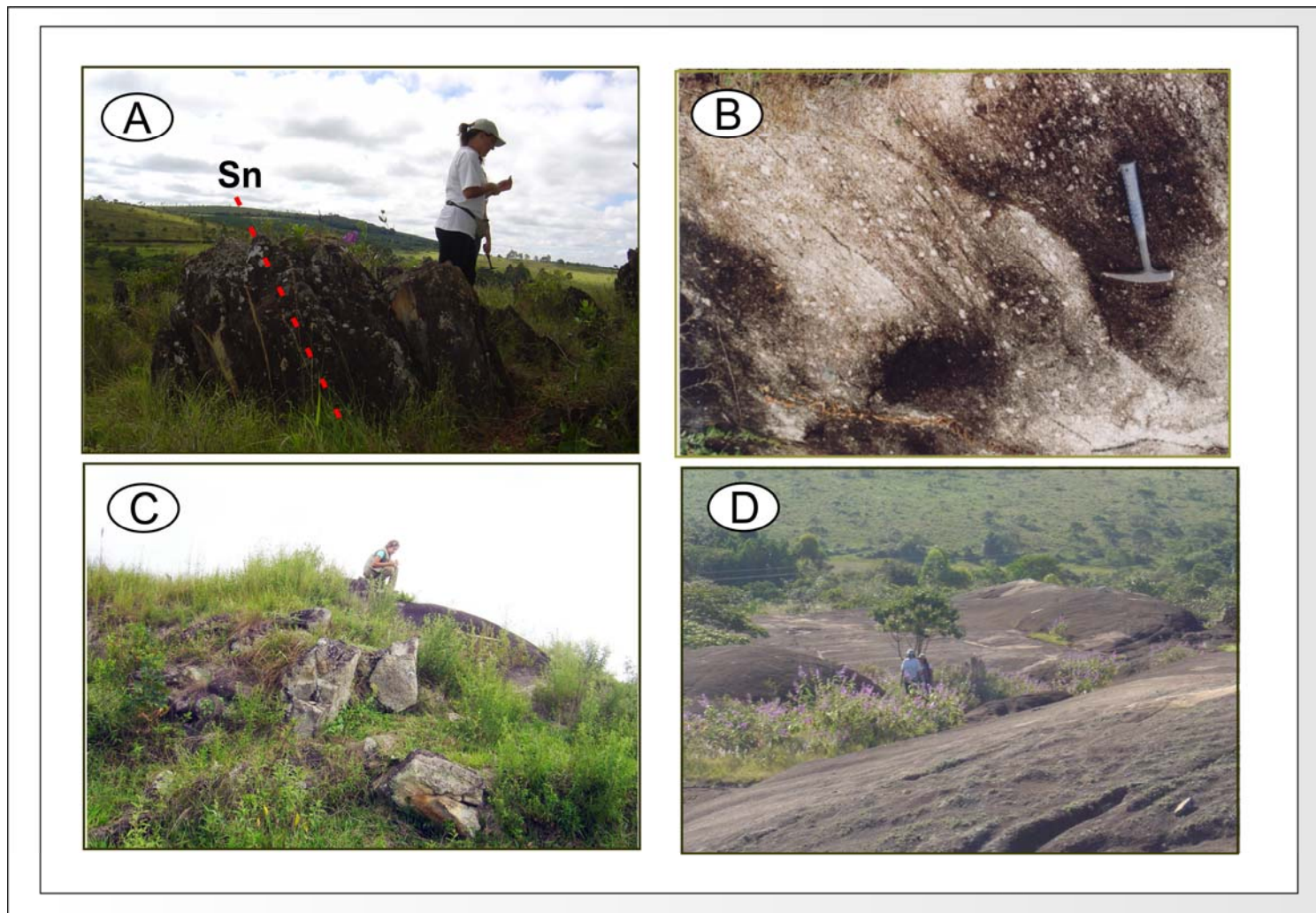




**Figura III.25** – Prancha de fotos ilustrando os pontos mapeados na região do Núcleo Arqueano. **A** - dique máfico cortando um metagranito. **B** – bloco de diques máfico, mostrando o aspecto comum de ocorrência destes corpos; **C** - Serra de Bom Sucesso. **D**- granito fortemente foliado.







**Figura III.26** – Prancha de fotos ilustrando unidades na região do Cinturão Mineiro. Na foto (A) cristas de xistos ultramáficos da Faixa Nazareno. Em (B) afloramento do Tonalito Tabuões. Na foto (C) formas de ocorrência em blocos do Corpo Ritápolis e na foto (D) Granitóide Itutinga.



### III.7 – REDEFINIÇÃO DOS CORPOS BATOLÍTICOS SÃO TIAGO E RITÁPOLIS

Silva *et al.*(2002) definiram o batólito São Tiago como um hornblenda granodiorito gnaisse posicionado sin a pré-colisionalmente no Cinturão Mineiro a cerca de  $2050 \pm 12$  Ma (U/Pb Shrimp). O estudo geocronológico realizado pelos autores, objetivou esclarecer os problemas estratigráficos-tectônicos do mapa geológico, tectônico apresentado por Bizzi *et al.* (2002) na escala 1: 2.500.000 e do Mapa Geológico de Minas Gerais na escala 1:1.000.000.

O granito Ritápolis diferentemente do corpo São Tiago, é um plúton de dimensões batolíticas relativamente estudado, podendo-se destacar vários trabalhos, entre eles, Quéméneur & Noce (2000), Ávila (1998, 2000). O trabalho mais recente de Ávila (2000), apresentado na escala 1:50.000, aborda a questão petrogenética do corpo, trabalho este que serviu de alicerce para uma das abordagens do próximo capítulo. Segundo o autor, o Granito Ritápolis aflora por cerca de  $85 \text{ Km}^2$ , composto por um espectro de rochas que vão de tonalitos, granodioritos a monzo e sienogranitos, cuja idade de cristalização é  $2.121 \pm 7$  Ma ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  evaporação de zircão).

A redefinição areal proposta neste trabalho, baseia-se na interpretação das imagens aerogeofísicas, bem como trabalhos de campo, e suas correlações geológicas com os mapeamentos pretéritos locais e regionais (Ávila 2000, Toledo 2002 e Bizzi *et al.* 2002). Desta maneira pode-se destacar para estes corpos:

- ❖ Ritápolis é entendido como uma unidade de dimensões batolíticas estendendo-se por cerca de  $163 \text{ Km}^2$ , apresentando relações de contato com o corpo São Tiago e a faixa Rio das Mortes na sua borda sul, granitóides Rezende Costa a norte e com o Trondhjemitó Cassiterita a sudoeste. Além da delimitação, foi possível analisar a sua heterogeneidade, ou seja, as variações internas composicionais, mapeáveis na escala 1:100.000, as serão discutidas com maior detalhe no capítulo a seguir;
- ❖ O Corpo São Tiago apresenta um dimensões de aproximadamente  $110 \text{ Km}^2$ , limitado a norte pela zona de cisalhamento Bomsucesso e a sul pelo granito Ritápolis, onde em campo esse contato é marcado por injeções *lit par lit.*. A assinatura gamaespectrométrica desta unidade exhibe um bandamento composicional. A borda oeste, apresenta valores médios de K, eTh e eU, muito



semelhantes aos tonalitos, dioritos e trondjhemitos mapeados na área, enquanto a borda sul e leste, correspondem as assinaturas dos granitos do tipo Ritápolis. O São Tiago aflora como um granito-gnaissíco, com bandamentos gnáissico (Figura III.27).



**Figura III.27** – Formas de ocorrência do Batólito São Tiago. Diferentemente do Ritápolis, as rochas deste corpo são intensamente deformadas.

A análise deste corpo levou a outros questionamentos a respeito de sua evolução. Mapeado inicialmente como pertencente ao embasamento arqueano (Quéméneur & Noce 2000), Silva *et al.*(2002), baseado em dados geocronológicos, postula que o batólito São Tiago representaria uma fase de acreção dos corpos pré-sincolisionais do Cinturão Mineiro. Contudo, dados de campo e as assinaturas geofísicas mostram um padrão que não é observado em nenhum dos outros corpos plutônicos pré-sincolisionais do Cinturão Mineiro.

### **III.8 – DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A interpretação dos dados aerogeofísicos, utilizando técnicas hierárquicas de classificação e classificação não supervisionada, possibilitou a geração de um mapa litogeofísico e caracterização de dois domínios litoestruturais previamente descritos por Silva *et al.* (2003) (ANEXO I).



As feições estruturais foram identificadas utilizando-se os produtos derivados da magnetometria e os modelos digitais de terreno (MDT e SRTM), destacando-se quatro grupos de estruturas. Os lineamentos do grupo I constituem nas feições estruturais mais antigas da área estudada. O grupo II, com direção NE/SW, constitui a feição mais proeminente da área e refere-se à zona de cisalhamento da Serra de Bom Sucesso (figura III.24), que separa dois blocos tectônicos distintos. As outras feições de direção NE/SW, do grupo III, são interpretadas como produtos principais da deformação do Cinturão Mineiro. O grupo de lineamentos IV, V e VI, apresentam continuidade física com os diques máficos descritos por Pinese (1997) e Carneiro & Oliveira (2005). As feições na direção N10°W do Grupo VII, que também cortam a megasseqüência São João Del Rei e Carandaí, podem representar os diques máficos descritos por (Ribeiro *et al.* 1995). Ainda no grupo dos lineamentos foi mapeada nos dados magnéticos uma estrutura elíptica, situada abaixo da seqüência São João Del Rei (Figura III.28 – A.2).

Em relação a gamaespectrometria, pode-se destacar principalmente o mapeamento dos corpos granitóides de dimensões batolítica Ritápolis e São Tiago (ST) (figura III.28 – B.1), cuja extensão areal é difícil de ser identificada devido à ausência de afloramentos deste corpos. Também foi possível mapear as seqüências de *Greenstone Belts* até as mediações de Lagoa Dourada. A individualização dessas seqüências supracrustais arqueanas, e a sua extensão para além dos limites já mencionados na literatura, se deu pela assinatura marcante, onde a variação dos radionuclídeos (K, eTh, eU) é expressivamente baixa. Esta informação é imprescindível para otimizar o trabalho de campo, já que estas rochas afloram, esparsamente, na forma de blocos.

A distribuição dos corpos plutônicos, bem como de suas rochas encaixantes, foi redefinida revelando limites e distribuições antes não mapeados pelas condições limitantes já citadas para o mapeamento desta região. Além de uma melhor delimitação espacial dos corpos paleoproterozóicos e das faixas do tipo *greenstone belts*, a interpretação dos dados aerogeofísicos permitiu a caracterização de diferentes padrões estruturais, contribuindo-se desta forma, não só para o refinamento da cartografia do CM, como também para um melhor entendimento das rochas do núcleo arqueano adjacente.

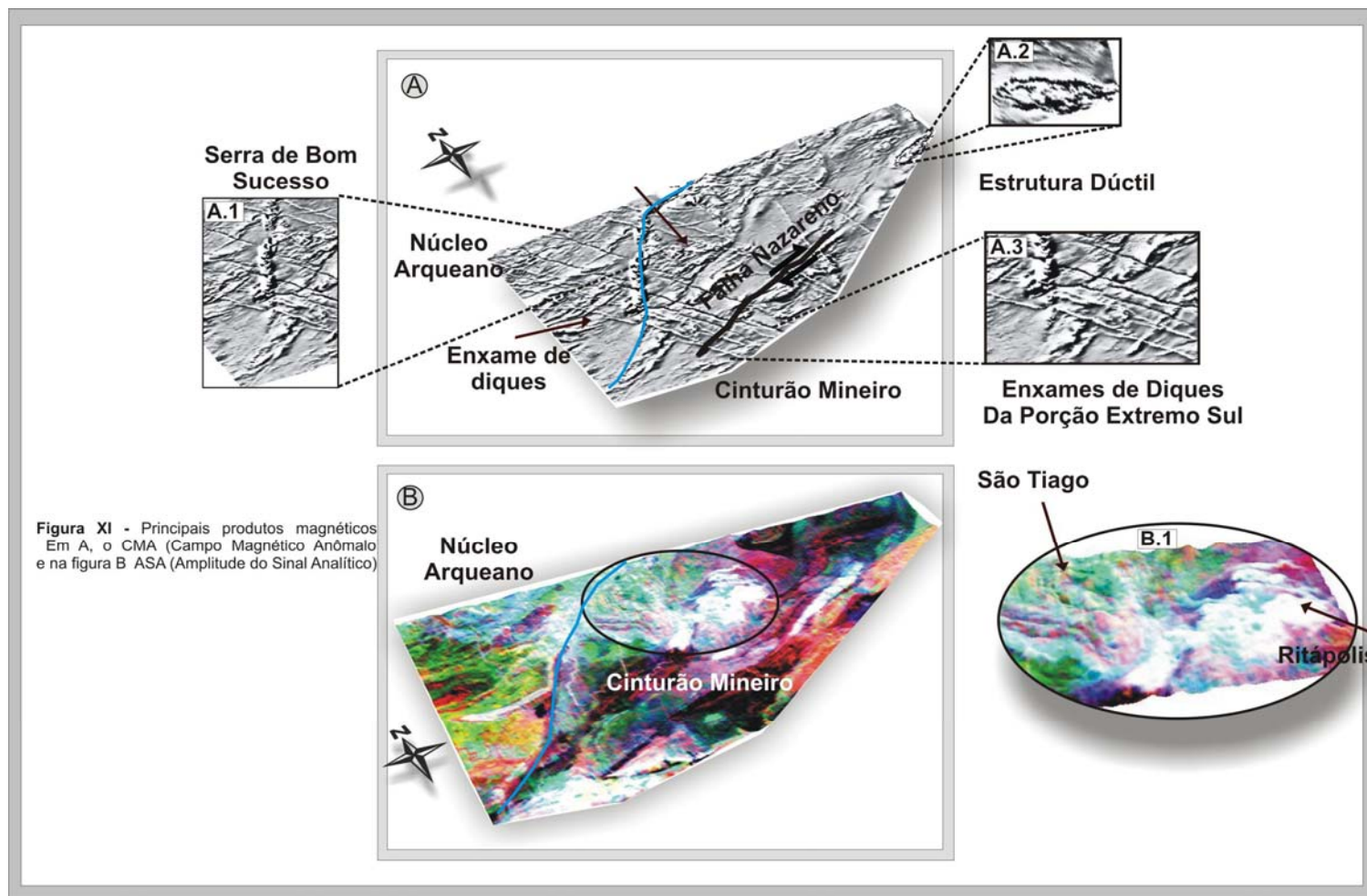
Quanto ao mapeamento das rochas que compõe o Núcleo Arqueano, enfatiza-se a escassez de dados geológicos e geocronológicos para a região. Destacam-se os trabalhos de

Quéméneur *et al.* (2003) e Campos & Carneiro (2005). O mapa apresentado para esta porção pode auxiliar em futuros estudos geoquímicos e geocronológicos na região.

O Cinturão Mineiro (Texeira & Figueiredo 1991; Teixeira *et al.* 2000) destaca-se nas imagens geofísicas pela sua forte estruturação regional NE-SW e pelo arranjo de corpos plutônicos paleoproterozóicos (Anexo I).

A interpretação dos dados geofísicos e a discussão dos limites e distribuição do CM são congruentes com o conceito de Texeira & Figueiredo (1991) e Texeira *et al.* (2000). Por outro lado, é imprescindível entender a superposição da deformação paleoproterozóica junto ao domínio arqueano. O conjunto de lineamentos III, discutido no item de domínios magnéticos, e interpretados como a deformação principal que define o CM, afeta também o núcleo arqueano. Este dado deve ser melhor investigado, no que diz respeito a zona de influência da deformação paleoproterozóica no extremo sul do Cratona São Francisco.





**Figura III.28** - Expressão das principais feições magnéticas e gamaespectrométricas. Em A, as estruturais mais proeminentes identificadas nos dados magnéticos (Derivada vertical), A1 - Serra de Bomsucesso; A.2 estrutura dúctil abaixo da Serra de S. José em Tiradentes. A.3 O Enxame de diques que corta todas as rochas da Porção Sul do Cráton S. Francisco. Na figura B os dados gamaespectrométricos exibem claramente a distinção dos corpos do Cinturão Mineiro. Em B.1 observa-se o limite e distribuição dos corpos São Tiago e Ritópolis.



## **CAPÍTULO IV – INTEGRAÇÃO DE DADOS MULTIFONTES APLICADOS AO CINTURÃO MINEIRO-MG: EXEMPLO DOS CORPOS PLUTÔNICOS RITÁPOLIS, CASSITERITA E MAUEL INÁCIO**

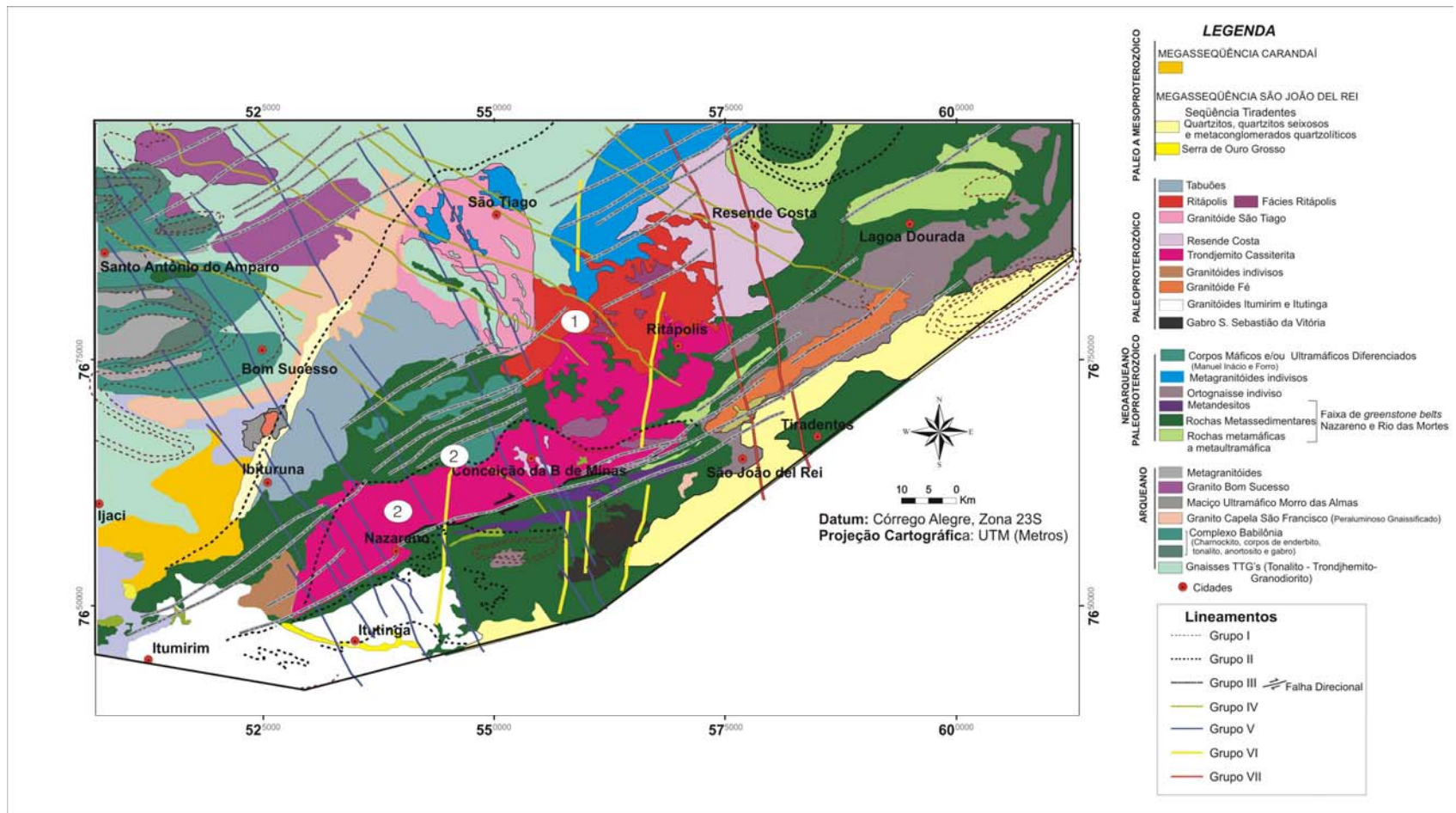
O mapeamento gamaespectrométrico aliado a geoquímica e geocronologia, têm auxiliado vários pesquisadores no entendimento de variações internas de corpos ígneos, sobretudo nos termos mais ricos em sílica, que segundo Dickson & Scott (1997) exibem um trend crescente em K, eTh e eU.

Shetselaar (2001) empregou a gamaespectrometria ao estudo de variações faciológicas de um corpo plutônico de dimensões batolíticas. Neste trabalho, o autor utiliza classificação visual e automatizada ISODATA dos canais radiométricos K, eTh e eU associada a *grids* dos dados geoquímicos, geocronológicos e descrição petrográfica. Shetselaar (2001) destacou que a mineralogia, bem como as assinaturas geofísicas, geoquímicas e geocronológicas correspondem a fases minerais decorrentes do processo de diferenciação magmática do corpo plutônico estudado.

A proposta deste capítulo é efetuar uma análise integrada de dados gamaespectrométricos, geoquímicos e geocronológicos dos corpos onde as variações internas são mapeáveis na escala 1:100.000. Desta maneira selecionou-se as unidades Cassiterita, Ritápolis e Manuel Inácio (Figura IV.1), para os quais abordar-se-ão os aspectos de campo, petrográficos, geoquímicos (convencional e isotópica), além da classificação não supervisionada ISODATA. Os dados geoquímicos e geocronológicos supracitados se referem aos trabalhos de Quéméneur & Noce 2000, Ávila 2000 e Toledo (2002), respectivamente.

A classificação ISOTADA foi aplicada às composições ternárias RGB (K, eTh, eU), e variações gamaespectrométricas internas nos corpos foram analisadas em detalhe e correlacionadas aos dados de geoquímica convencional e/ou isotópica disponíveis na literatura.





**Figura IV.1-** Mapa geológico da região de Nazareno e adjacências gerado neste trabalho. As elipses com os números indicam os corpos a serem abordados neste capítulo. 1) Granito Ritópolis; 2) Trondhjemito Cassiterita; 3) Manuel Inácio.



## **IV.1 MATERIAIS**

Os dados utilizados para esta parte do trabalho foram os mesmos do capítulo III.

## **IV.2 MÉTODOS**

Para efetuar uma análise integrada de dados aerogamaespectrométricos, geoquímicos e geocronológicos das unidades selecionadas, foram alcançadas as seguintes etapas: elaboração de banco de dados; reinterpretação das imagens aerogeofísicas nas áreas de detalhe e correlações dos resultados obtidos com outros corpos plutônicos da área de estudo.

### **IV.2.1 Elaboração do Banco de Dados**

O Banco de dados previamente elaborado para a primeira parte deste trabalho, inclui dados aerogeofísicos (magnéticos e gamaespectrométricos), geológicos e geoquímicos de Ávila (2000) e Toledo (2002). Para melhor compreender as variações nos corpos estudados, em especial no Cassiterita, os resultados geoquímicos obtidos por Ávila (2000) foram interpoladas utilizando a curvatura mínima do algoritmo *Ramgrid* do *software* Geosoft 6.2.

### **IV.2.2 Interpretação dos Dados Aerogeofísicos**

Os dados aerogeofísicos abordados neste trabalho, a gamaespectrometria recebeu um enfoque especial. Após uma nova interpretação visual, aplicou-se o algoritmo ISODATA utilizando a composição ternária RGB (K,eTh, eU). A análise e reclassificação resultantes seguem o padrão abordado no capítulo anterior: teores baixos (0 a 85 bits), médios (85 a 170 bits) e alto (170 a 255 bits). Efetuou-se uma análise detalhada das variações internas realçadas na classificação não-supervisionada para correlação com os dados geológicos e geoquímicos em ambiente SIG.

### **IV.2.3 Análise dos corpos plutônicos**

Na avaliação dos dados geológicos, geoquímicos e geocronológicos de cada corpo plutônico foi analisado o maior número de informações, que apresentassem um contraste em termos de suas propriedades físicas e químicas.

O objetivo é efetuar uma correlação entre as assinaturas geofísicas e os dados geológicos, geoquímicos e geocronológicos das unidades previamente selecionadas. Desta

forma, assinaturas gamaespectrométricas presentes na área de estudo poderão ser melhor compreendidas e avaliadas no contexto do Cinturão Mineiro.



### IV.3 RITÁPOLIS

O Granito Ritápolis representa um plúton de dimensões batolíticas, abrangendo uma área de 163 Km<sup>2</sup> de extensão. Localizado na porção central da área de estudo, apresenta relações de contato com o São Tiago a noroeste, com a faixa *greenstone belt* a leste granitóides Rezende Costa a nordeste e com o Trondhjemitó Cassiterita a sul (Figura IV.4).

As rochas desta unidade já receberam inúmeras denominações e foram definidas como granito Ritápolis por Quéméneur & Baraud (1982, 1983). Um estudo detalhado destes litotipos foi efetuado por Ávila (2000), descrevendo um corpo aproximadamente 85 Km<sup>2</sup> de extensão, admitindo-se dimensões batolíticas. Os aspectos geológicos a seguir baseiam-se, principalmente, nas descrições de Ávila (2000) e Toledo (2002).

#### IV.3.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS

Segundo Toledo (2002), este corpo é intrusivo na sucessão vulcano-sedimentar e no tonalito Tabuões. O seu contato com estas rochas é marcado por injeções *lit par lit*. A foliação do Ritápolis é incipiente, nem sempre concordante com a foliação regional paleoproterozóica. Segundo Ávila (2000), este corpo aflora sob a forma de grandes lajedos ou blocos (Figura IV.2) e sua foliação tectônica é fraca, marcada pelo arranjo paralelo de lamelas de biotita.

Este corpo é composto principalmente por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita, titanita, muscovita, zircão, allanita e pirita. Ávila (2000) descreveu a presença de quatro fácies, denominada de fina, fina/média, média e média/grossa, as quais são descritas abaixo:

- ✓ a fácies fina ocorre sob forma de diques que variam em largura de 30 cm a 30 m, intrusivos nas fácies médias e fina/média. São rochas de cor branca acinzentada, textura equigranular xenomórfica e granulometria fina (0,8 mm). A mineralogia essencial é composta por quartzo, feldspato (plagioclásio e microclina), raras lamelas de biotita e minerais acessórios;

- ✓ a fácies fina/média compreende dois grupos composicionalmente distintos. Um grupo de rochas tonalíticas e outro de rochas granodioríticas-graníticas. O primeiro grupo ocorre sob a forma de pequenos plugs com cerca de 50 cm ou diques que variam de 10cm a 2 m. São rochas hololeucocráticas (<10% de minerais máficos) de cor branca, granulometria fina/média (0,8 a 2,5 mm), texturas equigranular e inegranular xenomórfica. Essas rochas são compostas principalmente por plagioclásio, quartzo e biotita e apresentam uma foliação incipiente. O segundo grupo de rochas desta fácies aflora numa faixa alongada com cerca de 4 km<sup>2</sup> de extensão. São rochas hololeucocráticas de cor cinza e granulometria variando de fina a média (0,8 a 4mm), compostas por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita e titanita. Esse grupo de fácies também se encontra foliada;
- ✓ a fácies média é predominantemente e composta por rochas hololeucocráticas (5% de minerais máficos). Os afloramentos destas rochas são muito friáveis, onde dominam rochas de cor branca acinzentada. A granulometria é média (1,5 a 3,0 mm) e textura é inequigranular xenomórfica, composta por plagioclásio e microclina, quartzo, biotita e titanita. Essas rochas são isotrópicas;
- ✓ a fácies média/grossa ocorre subordinadamente. São rochas leucocráticas (<10% de minerais máficos), apresentam cor cinza, granulometria variando de média a grossa (4 a 6 mm), textura equigranular xenomórfica. São compostas por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita, mica branca, titanita e granada. A foliação é incipiente.



**Figura IV.2** – Formas de ocorrência do Granito Ritápolis (Ponto AC 29).

No diagrama ternário de classificação de rochas plutônicas QAP (Q- quartzo, A- feldspato alcalino e P- feldspato potássico), essas rochas são classificadas como tonalito, granodiorito, monzogranito e sienogranito (Ávila 2000). A fácies fina é predominantemente monzogranítica, sienogranítica e subordinadamente granodiorítica; a fácies fina/média ocorre como tonalitos, granodioritos e algumas vezes como rochas monzograníticas. A mineralogia principal do Granito Ritápolis consiste de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita e muscovita, e os acessórios titanita, zircão, allanita, apatita, opacos, epidoto, clorita e carbonato.

### **IV.3.2 GEOQUÍMICA**

Segundo Noce *et al.* (2000), o Ritápolis é uma intrusão de caráter peraluminosa, teores  $\text{SiO}_2$  de 73,9 %, baixo conteúdo de CaO (média de 0,68 %). É pobre em elementos traço como Li, V, rico em U (média de 50 ppm) e Th (cerca de 55 ppm), com altas razões de Rb/Sr (4.97 – 7.55).



### IV.3.3 GEOCRONOLOGIA

As idades deste corpo são apresentadas na tabela IV.1. Noce *et al.*(2000) interpretam os dados geocronológicos do granito Ritápolis como pertencente ao grupo de granitos peraluminosos com idades modelo arqueanas variando de 3.07-2.62 Ga e valores de  $\epsilon_{Nd}(t)$  -7.3 a -5.9 e altas razões iniciais de  $^{87}Sr/^{86}Sr$ . Esses dados sugerem fontes crustais arqueanas. Ávila (2000) sugere que o granito Ritápolis é um corpo tardi-tectônico. Campos & Carneiro (2005) advogam que este corpo seria caracterizado como granitóides TTG, relacionados a refusão de crosta continental também de assinatura do tipo TTG.

**Tabela IV.1** Dados geocronológicos do Granito Ritápolis obtidos na literatura e sumarizadas para este trabalho.

Corpo	Idade	Método/Autor	Método
Granito Ritápolis	1.863 $\pm$ 044 Ma (Cristalização) 2.71 e 2.62 Ga (TDM – idade modelo) Calculada com $\epsilon_{Nd}(t)$ de -7.3 e -5.9	Noce <i>et al.</i> . (2000)	Rb/Sr  Sm/Nd
	2.061 $\pm$ 200 Ma	Campos & Carneiro (2005)	$^{207}Pb/^{206}Pb$ Evaporação de Zircão
	2.121 $\pm$ 7 Ma	Ávila (2000)	$^{207}Pb/^{206}Pb$ Evaporação de Zircão

### IV.3.4 ASSINATURA GEOFÍSICA

O Granito Ritápolis (Figura IV.4A) é caracterizado visualmente por uma assinatura gamaespectrométrica com alto K, alto eTh , alto eU (Figura IV. 4B) com porções ricas em alto eTh e alto eU. Analisando os dados da classificação ISODATA observa-se uma zonação dos radioelementos (Figura IV.4 C) que não é observada na interpretação visual e está distribuída em três classes descritas abaixo do centro para a borda (Figura IV.3 e Tabela IV.2).

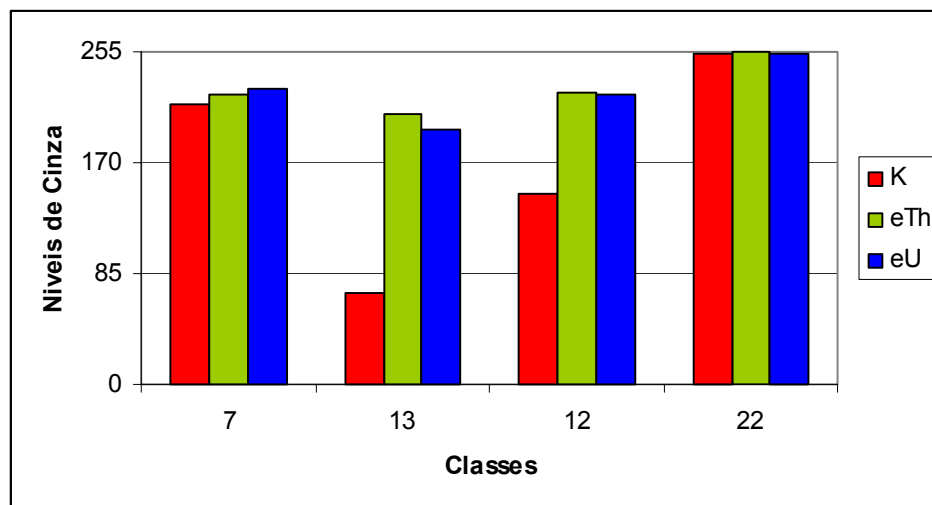
- **Classe 22:** localiza-se no centro deste corpo, apresentando altos valores de K, eTh e eU. Representa a assinatura principal do corpo estudado, caracterizado na imagem RGB (KeTheU) pela cor branca;



- **Classe 7:** contorna a fácies anterior em direção as bordas do corpo e apresenta uma diminuição gradual nos teores de K, eTh e eU;
- **Classe 12:** ocorre na borda do corpo Ritápolis, apresentando médios valores de K, e altos valores de eTh e eU.
- **Classe 13:** na interpretação visual ocorre como porções ricas em alto eTh e alto eU. Na classificação não supervisionada esta assinatura é caracterizada como baixo K, alto eTh e alto eU.

**Tabela IV.2** Estatística das classes interpretadas como variações internas dos radioelementos no corpo Ritápolis.

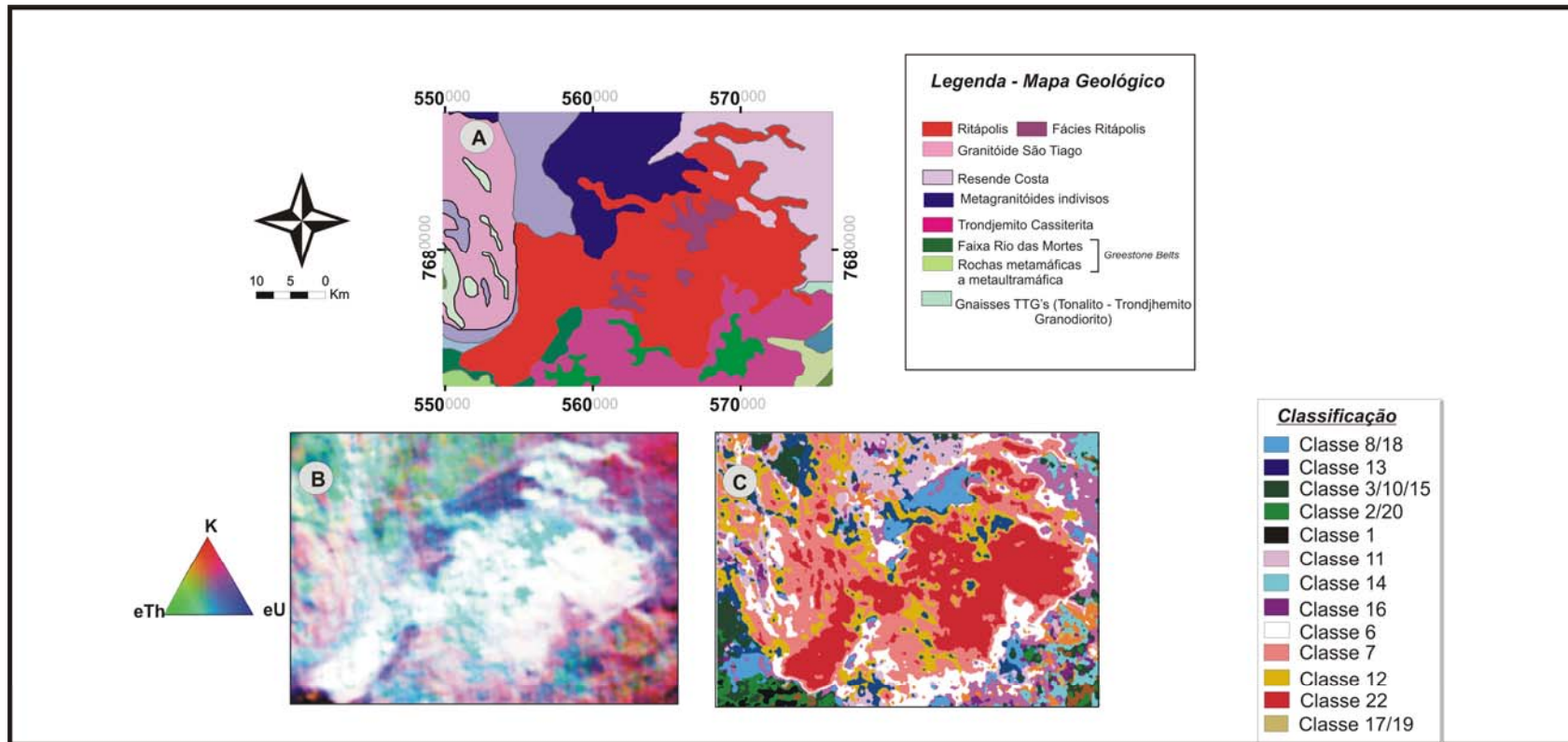
Classes	K	eTh	eU
22	254,179	254,33	254,25
7	214,431	222,63	226,80
12	146,117	223,03	222,67
13	69.769	207.11	194.64



**Figura IV. 3** – Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos no Granito Ritápolis através da classificação não supervisionada ISODATA.







**Figura IV.4** – Em A –Detalhe do Granito Ritápolis no mapa geológico integrado do Cinturão Mineiro e adjacências; na figura B composição colorida em falsa cor RGB (K, eTh, eU), em C o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.



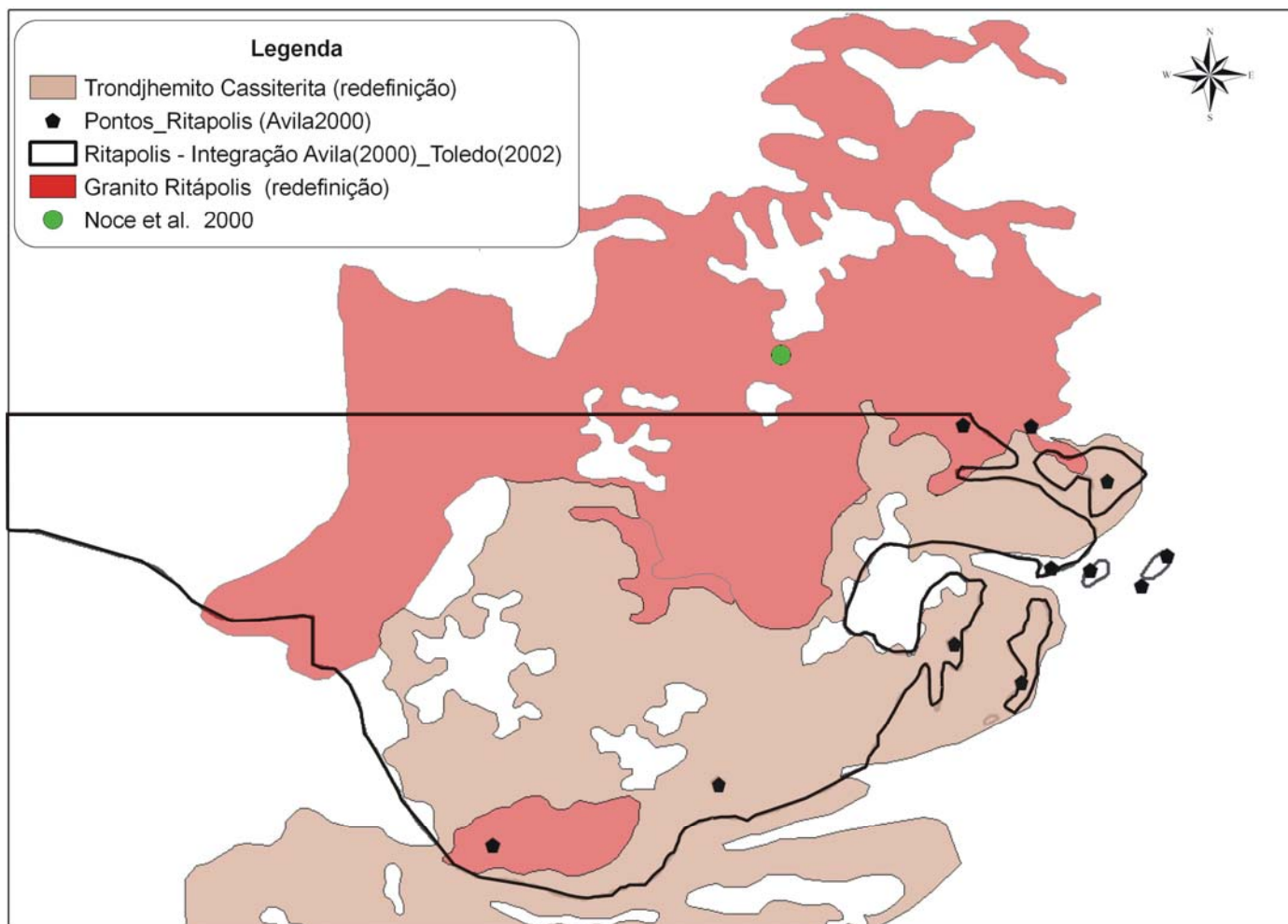
#### **IV.3.5 CORRELAÇÕES ENTRE A ASSINATURA GEOFÍSICA E OS DADOS PETROGRÁFICOS**

A área mapeada por Ávila (2000), corresponde a borda do corpo Ritápolis em contato com o Trondjhemito Cassiterita (Figura IV.5). Das quatro fácies descritas por este autor, duas apresentam correlações com a redefinição Granito Ritápolis proposta neste trabalho. As fácies são a fina de composição monzogranítica e a média – sienogranítica correspondentes as classes 22 e 12 da classificação não supervisionada.

A classe 22 é considerada a assinatura principal do Ritápolis e corresponde à fácies fina de composição monzogranítica descrita por Ávila (2000). Os dados de Noce *et al.* (2000) corroboram com esta afirmação (Figura IV.5). No ponto analisado, o Ritápolis apresenta altos valores de SiO<sub>2</sub> e altos valores de U e Th congruentes com as mais altas variações de KeTheU, mapeadas na classificação não supervisionada.

As classes 7 e 12 são interpretadas como pequenas variações composicionais do granito Ritápolis, descritas por Ávila (2000) como tonalitos e granodioritos, correspondentes a fácies média de composição sienogranítica.





**Figura IV.5**– Detalhe da integração da área mapeada por Toledo (2002) e Ávila (2000), bem como os pontos de amostragem do corpo Ritápolis de Ávila (2000) e Noce et al (2000). Observar as redefinições dos corpos Ritápolis e Cassiterita proposta neste trabalho.



#### IV.4 TRONDHJEMITO CASSITERITA

Esta unidade está distribuída numa faixa alongada de direção NEE-SWW, com 90 km<sup>2</sup> de extensão, limitado a norte pela Faixa Rio das Mortes e a sul pela Faixa Nazareno. Suas rochas são fortemente foliadas, com xistosidade proeminente variando de N50°E/50 SW a N90°E/85 SW.

Este corpo já foi muito estudado, recebendo ao longo de décadas várias denominações. Ávila (2000) utiliza Trondhjemito Cassiterita para designar um corpo de 70 km<sup>2</sup> de dimensão encaixado nas seqüências do tipo *Greenstone Belt*, em substituição do termo Granito Cassiterita de Quéméneur & Baraud (1982 e 1983). Ávila (2000) efetua um estudo minucioso apresentando dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, os quais são descritos a seguir.

##### IV.4.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS

Segundo Toledo (2000), as rochas do Trondhjemito Cassiterita são invariavelmente foliadas e localmente gnaissificadas. O contato com a Faixa Rio das Mortes e com o Manuel Inácio é também intrusivo e reativado por falhamento transcorrente dextral (Figura IV.6 A e B). Em escala mesoscópica apresenta cor branca, granulometria variando de média à grossa, composta principalmente por quartzo, plagioclásio, biotita e allanita e raros cristais de anfibólio e microclina.

Este corpo encontra-se localmente mineralizado em galena, molibdenita, pirita, calcopirita, sulfeto de prata, de antimônio e telúrio, e secundariamente piromorfita, anglesita, plumbogmita e óxidos de chumbo (Ávila 2000).

Ávila (2000) subdivide as rochas em duas fácies, as quais serão discutidas abaixo:

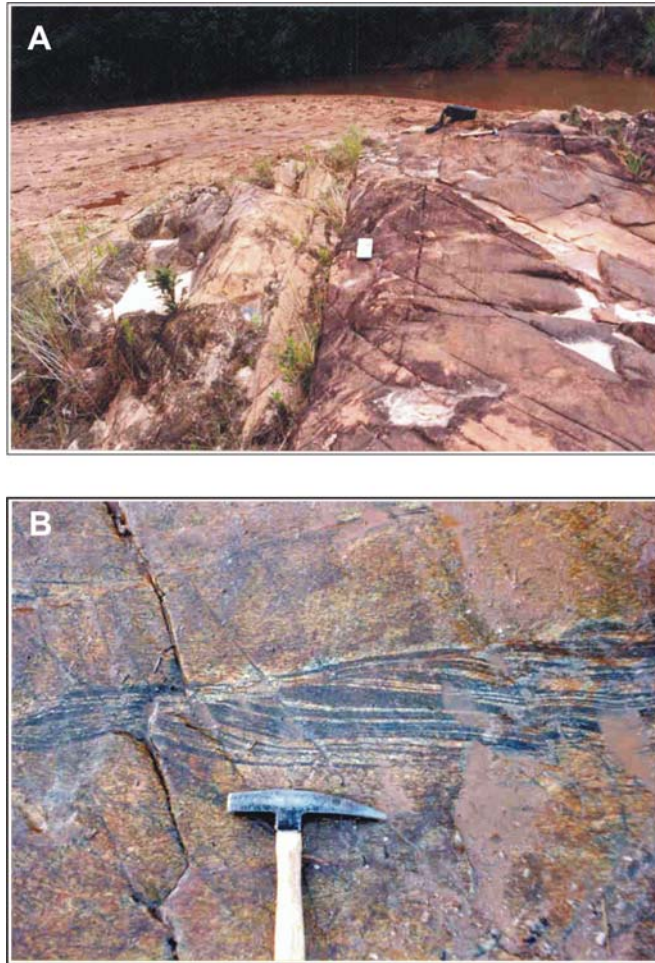
a fácies 1 é leucocrática, de cor branca, granulometria grossa e apresenta foliação tectônica marcante. Ocorrem como autólitos na fácies 2 ou como xenólitos em apófises Granito Ritópolis;

a fácies 2 apresenta uma maior distribuição areal em relação a fácies 1, são rochas leucocráticas, de cor cinza, granulometria média. Essas rochas são fortemente foliadas, e apresentam planos de foliação anastomosados, expressos em aglomerados de quartzo e feldspato envoltos de biotita.

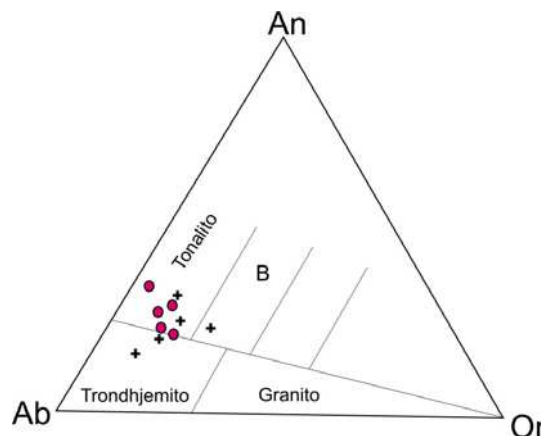
Segundo Ávila (2000), as rochas do trondjhemito Cassiterita posicionam-se no diagrama de classificação de rochas plutônicas QAP (Q – quartzo, A – feldspato alcalino e P- feldspato potássico) no campo dos tonalitos e granodioritos e são compostas por plagioclásio, quartzo, biotita, microclina, pertita, hornblenda, zircão, apatita, allanita e minerais opacos, rutilo, epidoto, titanita, mica branca, carbonato e clorita (Figura IV.7).

A textura é predominantemente inequigranular xenoblástica, com contatos entre os grãos sinuosos e lobados. A biotita e o quartzo estão orientados segundo a foliação paleoproterozóica (ver capítulo III), imprimindo a rocha uma trama anastomosada. As duas fácies são muito semelhantes e apresentam suas feições primárias completamente modificadas por um evento metamórfico-deformacional-metassomático, que ocasionou a orientação dos seus minerais. A fácies 1 difere da 2, segundo o referido autor, por apresentar porções fortemente recristalizadas com poligonização dos minerais; pela presença de microclina associada aos minerais recristalizados e por conter biotita e não apresentar hornblenda marrom primária.





**Figura IV.6**– (A) Contato entre o trondjhemito Cassiterita (a direita) e os xistos máficos pertencentes à Faixa Rio das Mortes (a esquerda). No contato, os dois litotipos estão muito deformados e são observados xenólitos estirados de xisto máfico no domínio do granito. (B) Xenólito de metagabro cisalhado pertencente ao Corpo Manuel Inácio, envolto pelo granito Cassiterita, próximo do contato entre essas unidades.



**Figura IV.7**– Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Streckeisen (1967), exibindo a caracterização petrográfica das rochas do Trondjhemito Cassiterita. (extraído de Ávila 2000)



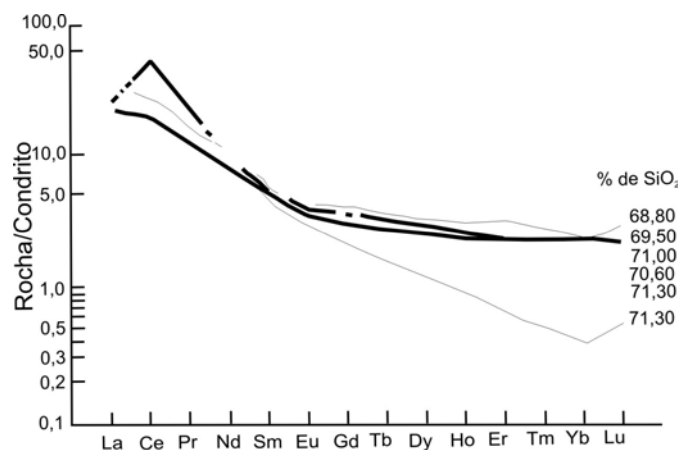
#### IV.4.2. GEOQUÍMICA

Ávila (2000) classifica as rochas do Trondhjemito Cassiterita química e mineralogicamente como tonalito-trondhjemito. Elas apresentam caráter peraluminoso, são subalcalinas e alinham-se segundo o *trend* cálcio-alcálico. No diagrama de CaO—Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O plotam no campo dos magmas cálcio-alcálicos trondhjemíticos.

No diagrama Rb-Ba-Sr, apenas uma amostra cai no campo dos granitos anômalos, pois, em conjunto com o enriquecimento de K<sub>2</sub>O ocorreu o incremento de Ba. As demais plotam no campo dos granodioritos. Segundo o autor, o Trondhjemito Cassiterita é possui alto Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Em relação ao padrão de distribuição dos elementos terras raras (Figura IV.8 destaca-se (Ávila 2000):

- ✓ anomalia positiva de Ce;
- ✓ fraca anomalia negativa de európio Eu (\*Eu/Eu variando de 0,84 até 0,95);
- ✓ fracionamento desde moderado até acentuado dos ETR, onde a razão (La/Yb)<sub>n</sub> varia entre 8,43 e 79,15;
- ✓ forma côncava para distribuição de elementos terras raras pesados (ETRP);
- ✓ pequena variação no conteúdo dos ETRP, onde Yb e Lu diminuem à medida que os valores de SiO<sub>2</sub> se elevam;
- ✓ baixos valores de Yb que, normalmente, encontram-se relacionados à presença de hornblenda;



**Figura IV.8** – Diagrama discriminante de elementos terras raras do Trondhjemito Cassiterita normalizado para valores do condrito proposto por Nakamura (1974) (extraído de Ávila 2000).

#### IV.4.3. GEOCROLOGIA

As idades do Trondjhemito são apresentadas na tabela IV.3. A sua idade de cristalização está bem definida, embora sua origem ainda seja polêmica. Noce *et al.*(2000), consideram que a origem do Cassiterita estaria relacionada a mistura de fontes crustais arqueanas e material juvenil. Entretanto, Ávila (2000) considera que este corpo seria o resultado da fusão direta de uma crosta oceânica, sem contribuição crustal. A idade modelo paleoproterozóica e o fator  $\epsilon_{Nd}$  negativo parecem corroborar com tal afirmação.

**Tabela IV.3** – Dados geocronológicos do Trondjhemito Cassiterita sumarizados para este trabalho.

Corpo	Idade	Método/Autor	Método
Tonalito/Trondjhemito Cassiterita	2.162 +/- 10Ma	Ávila <i>et al.</i> (1998)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
	$T_{DM} 2,37 \text{ Ga}$ $\epsilon_{Nd}(t) = -0,89$	Ávila (2000)	Sm/Nd

#### IV.4.4. ASSINATURA GEOFÍSICA

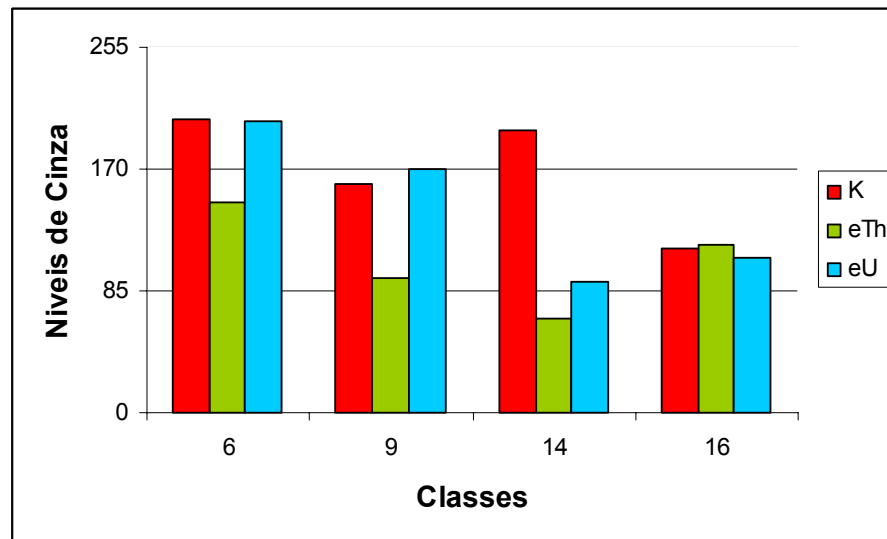
O Trondjhemito Cassiterita (Figura IV.11 A) é caracterizado visualmente por uma assinatura gamaespectrométrica com alto K, baixo  $eTh$ , alto  $eU$  com porções ricas em alto  $eU$ . Na classificação ISODATA (Figura IV.11 C), este corpo apresenta uma zonação de radioelementos distribuída em quatro classes, as quais são consideradas como as principais variações descritas abaixo da borda para o centro (Figura IV.9 e Tabela IV.4), a saber:

- **classe 6:** ocorre principalmente onde o Cassiterita faz contato com o corpo Ritápolis, ou seja, na sua porção leste. Esta classe apresenta valores enriquecidos em K e  $eU$ . Nas razões  $eU/eTh$  (Figura III.14) esta associada com os picos de maior concentração de  $eU$ ;
- **classe 9:** localiza-se preferencialmente na borda deste corpo, e apresenta um gradual decréscimo de K e  $eU$ . Nas bordas do TC, esta classe também apresenta alto gradiente na amplitude do sinal analítico;
- **classe 14:** ocorre em porções esparsas no centro do Trondjhemito Cassiterita, com valores mais baixos de  $eTh$  e  $eU$ ;

- **classe 16:** dentre as outras descritas, é a de maior distribuição areal no corpo Cassiterita apresentando valores médios de K, eTh e eU;

**Tabela IV.4** Distribuição das classes interpretadas como variações internas dos radioelementos no Trondjhemito Cassiterita.

Classe	K	eTh	eU
6	205,256	147,03	203,68
9	159,259	94,45	170,42
14	197,147	65,23	91,78
16	114,592	116,67	108,16



**Figura IV. 9** – Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos no corpo Cassiterita.

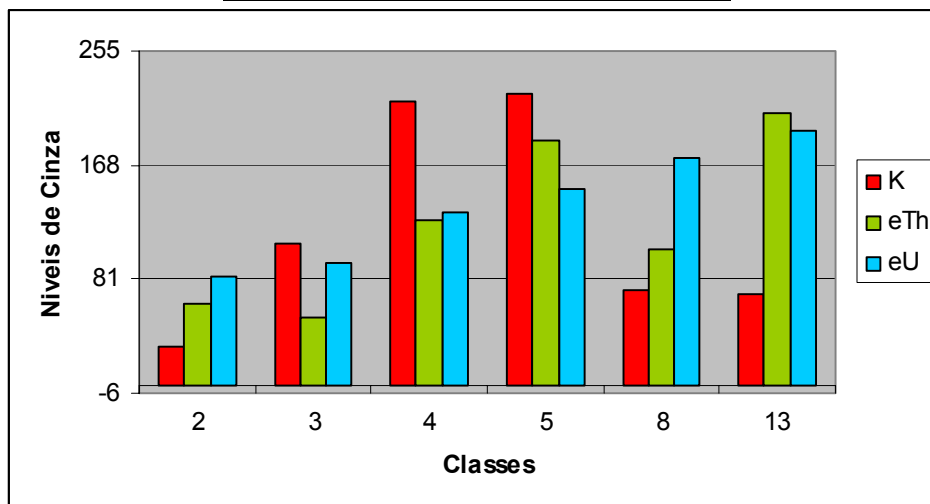
Outras classes foram mapeadas e são descritas separadamente das classes principais, pois representam os enclaves no Trondjhemito Cassiterita (Tabela IV.5 e Figura IV.10)

- **classes 2 e 3:** ocorrem em pequenas porções esparsas e como uma faixa estreita de direção E-W, situada na parte leste. Seus valores de K eTh eU, são expressivamente baixos;
- **classes 4 e 5:** mapeadas na porção leste do corpo, ocorrem em contato com a faixa Rio das Mortes. Apresentam altos valores de K, médios de eTh e eU;
- **classes 8 e 13:** estas classes ocorrem como porções esparsas no corpo. Apresentam valor baixo de K, o eTh é médio na classe 8 e alto na classe 13. O eU é alto em ambas.



**Tabela IV.5** -Distribuição das classes interpretadas como variações de radioelementos dos enclaves do corpo Cassiterita

Classe	K	eTh	eU
2	30.076	62.24	82.48
3	107.958	51.94	93.78
4	217.029	125.72	132.06
5	222.847	186.50	149.13
8	73.159	103.73	173.47
13	69.769	207.11	194.64



**Figura IV. 10** – Gráfico ilustrando o comportamento dos radioelementos em porções isoladas no Trondjhemito Cassiterita.





#### IV.4.5. CORRELAÇÕES DAS ASSINATURAS GAMAESPECTROMÉTRICAS, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA

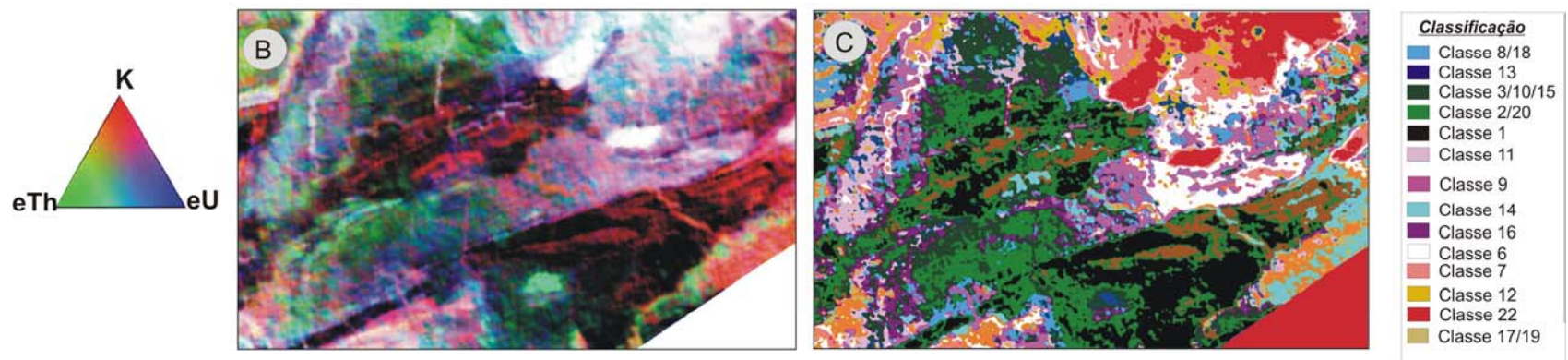
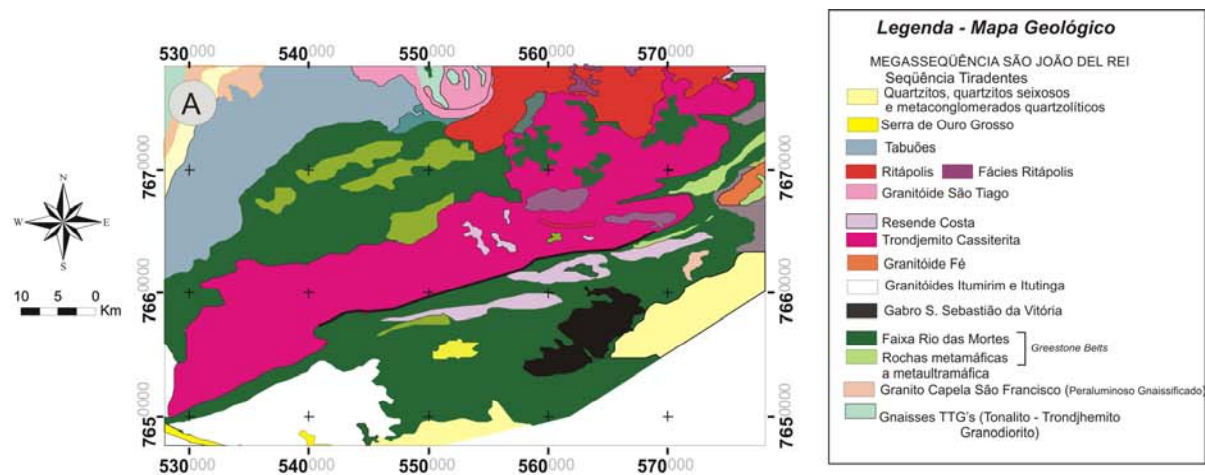
Ávila (2000) fez um estudo minucioso de todas as fácies mapeadas no corpo Cassiterita, abordando o aspecto petrográfico e geoquímico. Nesta abordagem Ávila (2000) sugere que a cristalização dos minerais durante a formação do Trondjhemito Cassiterita iniciou com a fase acessória. Desta forma, zircão, apatita e allanita seriam os primeiros a cristalizarem no magma tonalítico/trondhjemitico. Minerais opacos, como a ilmenita, estariam associados a esta fase acessória e participariam desta etapa inicial. As etapas seguintes levariam à formação das fases principais representadas pelo plagioclásio, anfibólio, biotita, quartzo e a hornblenda marrom esverdeada.

Ávila (2000) também descreve nos estágios tardios de evolução magmática, ocorre uma fase homogênea rica em K e Na e diversas feições denotando processos de interação entre fluidos hidrotermais e rocha. Após estas transformações, ocorreu um amplo desenvolvimento de microclina. Este mineral substituiu o plagioclásio, ocasionando o intercrescimento mimerquítico associado ao feldspato potássico, caracterizando um processo de granitização metassomática ou metassomatismo potássico (Michel-Levy *in* Hipperty 1987).

Abaixo é apresentada uma correlação entre os dados obtidos por Ávila (2000) e as classes mapeadas na classificação não supervisionada:

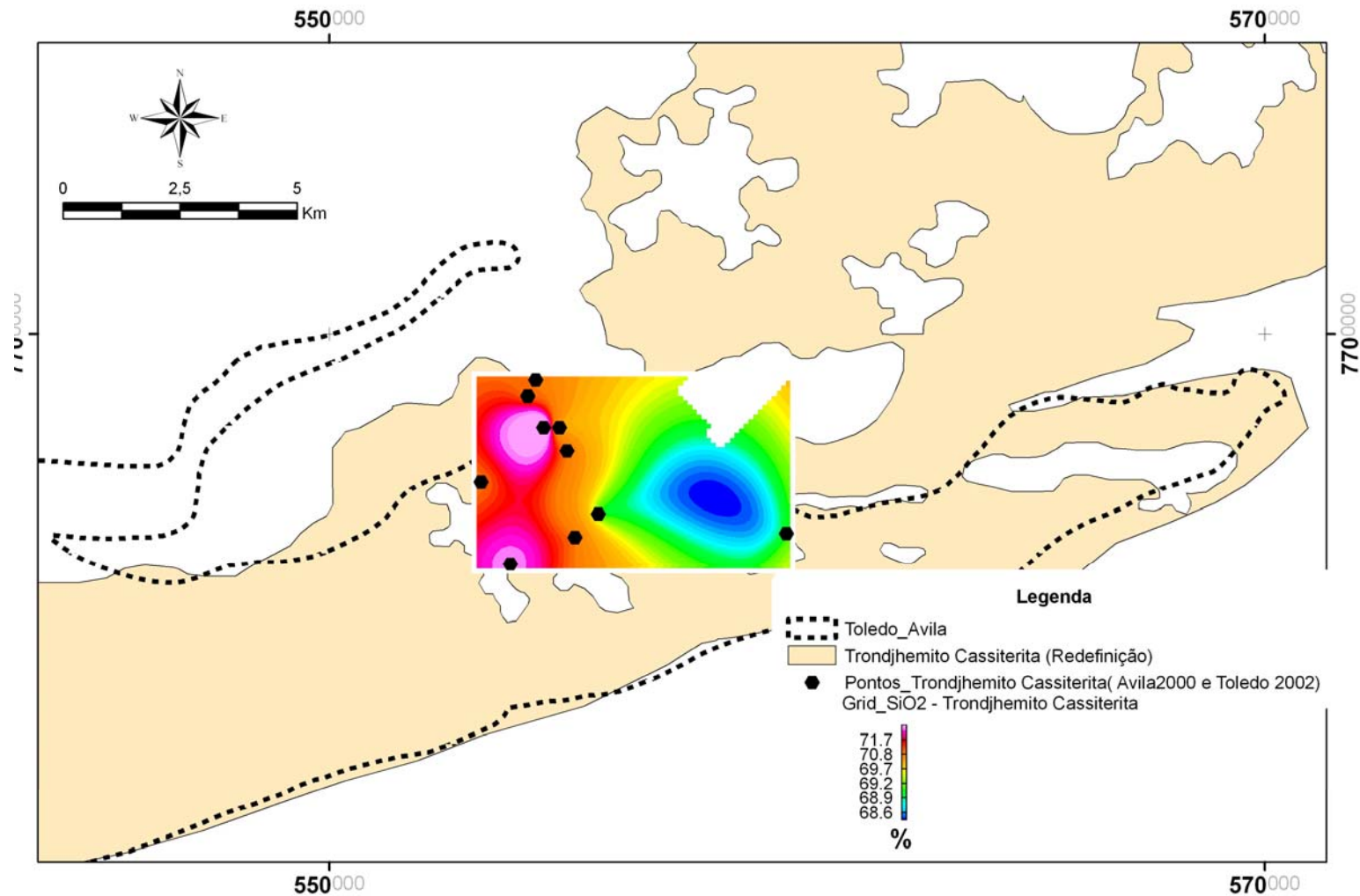
- A **classe 9** corresponde a porções não afetadas pelas reações do metassomatismo potássico, pois os valores elevados em eU são congruentes com a fase inicial rica em acessórios tais como: zircão, apatita, allanita, ricos em elementos traços como urânio;
- A **classe 16** seria a assinatura característica do corpo Trondjhemito Cassiterita.
- A **classe 14** ocorre em pequenas porções no Trondjhemito Cassiterita apresentando altos valores de K, referentes possivelmente, aos processos tardios da evolução magmática ricos em K e Na sugeridos por Ávila (2000);

- A **classe 6** localiza-se principalmente na porção leste, onde Ritápolis é intrusivo no Trondjhemito Cassiterita. Os valores altos em K são interpretados como resultado do metassomatismo potássico, ocasionado pela intrusão do Ritápolis. Essas transformações ocasionaram a formação de microclina, substituindo o plagioclásio e o intercrescimento mimerquítico, conforme descrito por Ávila (2000) e também observado nos *grids* de sílica e potássio (Figura IV.12 e 13).



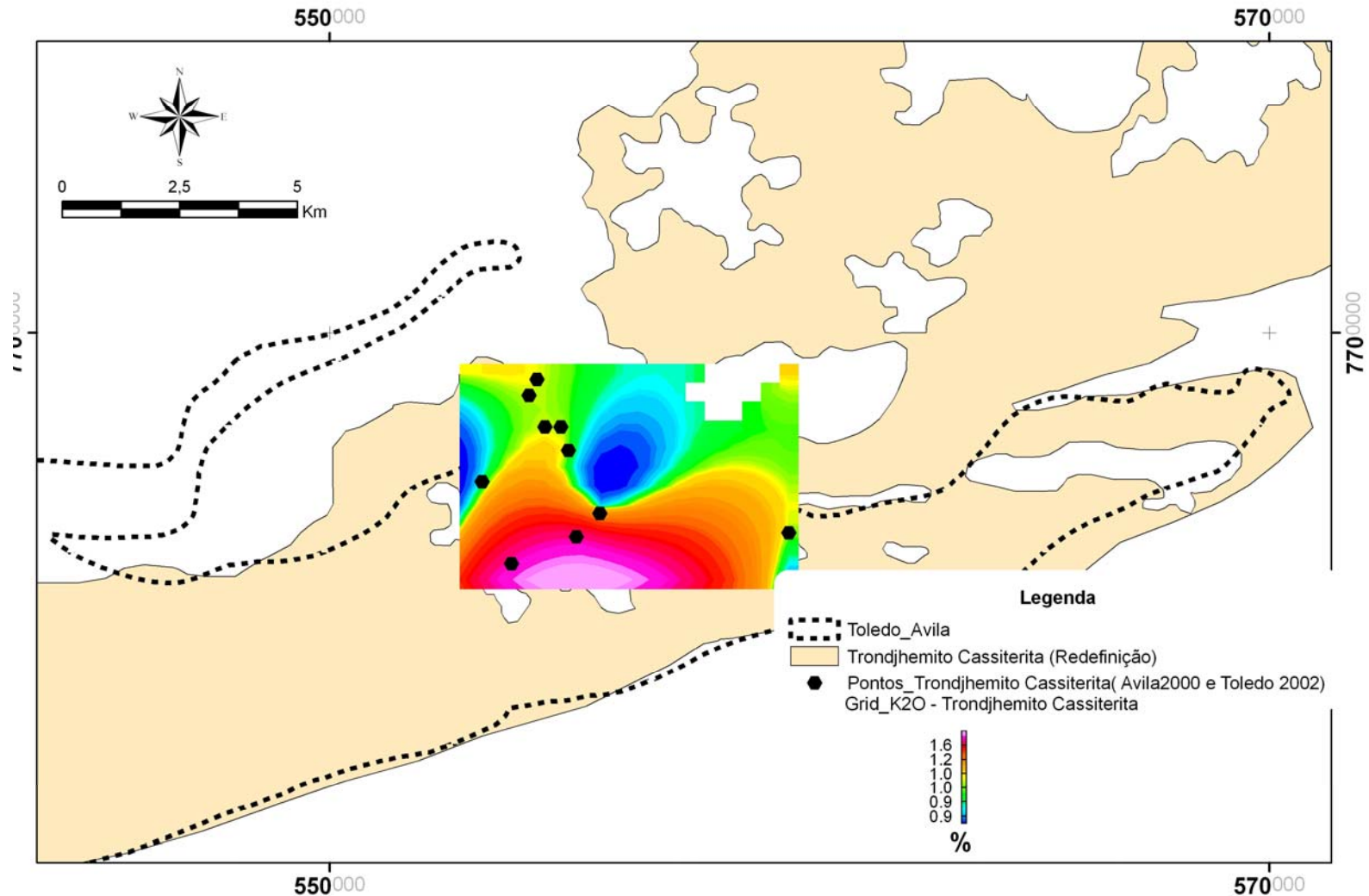
**Figura IV. 11** – Em A - detalhe do Trondhjemito Cassiterita; Em B observa-se a composição colorida em falsa cor RGB (K, eTh, eU) e em C, o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.





**Figura IV. 12** – Dados de SiO<sub>2</sub> (Ávila 2000) interpolados utilizando o algoritmo mínima curvatura. Observar os valores mais baixos de sílica demarcando a zona de atuação do metassomatismo potássico descrito por Ávila (2000).





**Figura IV. 13** – Dados de K<sub>2</sub>O (Ávila 2000) interpolados utilizando o algoritmo mínima curvatura. Observar os valores mais altos de potássio demarcando a zona de atuação do metassomatismo potássico descrito por Ávila (2000).





## IV.5 CORPO MANUEL INÁCIO

Toledo (2002) reconheceu quatro unidades máficas-ultramáficas acamadadas associadas espacialmente às seqüências do tipo *grenstone belt* (Faixas Nazareno e Rio das Mortes) são elas: Rio Grande, Rio dos Peixes, Manuel Inácio e Forro. Estes corpos apresentam formas lenticulares, orientadas segundo a foliação tectônica regional (N70°E) desenvolvida durante o evento Transamazônico, e são constituídos por proporções variáveis de peridotito, piroxenito e gabro, metamorfizados em condições de fácies anfíbolito. Apesar do metamorfismo e deformação, as feições texturais originais indicativas de protólitos magmáticos plutônicos diferenciados permanecem preservadas. Segue abaixo uma descrição mais detalhada do corpo Manuel Inácio.

### IV.5.1 ASPECTOS DE CAMPO E PETROGRÁFICOS

Segundo Toledo (2002), o Manuel Inácio encontra-se encaixado em anfíbolitos da Faixa Rio das Mortes, ambos intrudidos por uma apófise do corpo Cassiterita. Este corpo é composto principalmente por metapiroxenitos e subordinadamente metagabros, além de seus termos mais deformados, os quais são: anfíbolitos e talco-clorita xistos. As rochas do Manuel Inácio ocorrem como blocos “*in situ*”, centimétricos a decamétricos, normalmente intemperizados. Este corpo apresenta uma foliação anastomosada com direção N40-70°E mergulhando para SE e NW, compondo amêndoas centimétricas a métricas.

Os metagabros apresentam granulação média a grossa, coloração verde acinzentado, em geral de textura ígnea preservada. Localmente a autora descreve um acamamento ígneo marcado pela alternância de bandas de granulação distinta. Dois tipos e gabros foram reoconhecidos (Toledo 2002). O tipo I contém cummingtonita como mineral máfico principal e o tipo II contém actinolita/hornblenda, sem registros de cummingtonita. O tipo I é composto por cummingtonita e plagioclásio, podendo conter quantidades subordinadas de hornblenda. Acessórios são: biotita, epidoto, ilmenita, magnetita, pirita e pentlandita. A granulação é média. O tipo II é composto principalmente de Mg-hornblenda/actinolita e plagioclásio, podendo conter opacos,

biotita, titanita, apatita, zircão, rutilo e quartzo como acessórios. A textura é subofítica a intergranular.

Os metapiroxenitos apresentam coloração verde claro, granulação variando de média a grossa, também em exposições muito intemperizadas. São compostos principalmente por tremolita, Mg-cummingtonita, Mg-clorita e, subordinadamente talco, antofilita e olivina. Acessórios são: ilmenita, magnetita, pirita, pentlandita e apatita.

#### **IV.5.2 ASSINATURA GEOFÍSICA**

O Manuel Inácio é caracterizado visualmente por apresentar baixas razões de radioelementos, classificado como baixo K, baixo eTh, e baixo eU. Na classificação ISODATA apresenta os valores de K (15,706), eTh (17,64), eU (18,41) (Figura IV.14)

#### **IV.5.3 GEOQUÍMICA**

Toledo (2002), antes de estudar as características químicas (elementos maiores, menores e traços), avaliou o quanto às rochas deste corpo foram afetadas pelos processos secundários. Desta forma postulou que a olivina, o ortopiroxênio e o clinopiroxênio seriam as principais fases fracionadas na evolução deste corpo, de forma que apenas o Si, o Mg e o Fe participaram da cristalização destes minerais. O restante dos elementos seriam incompatíveis.

No diagrama álcalis x sílica, as rochas deste corpo foram plotadas no campo de suítes subalcalinas. Nos diagramas de variação triangular AFM, as amostras do corpo Manuel Inácio estão posicionadas no campo toleítico e define um *trend* com enriquecimento moderado de Fe. O padrão de ETR é fracionado com abundância total variando entre 2 e 100 x condrito. Toledo (2002) observou que houve um enriquecimento acentuado dos elementos de terras raras leves (ETRL) ( $La/Sm_n$ : 2,3 e 3,5) e leve empobrecimento dos elementos de terras raras pesadas (ETRP) ( $Sm/Yb_n$ : 1,5 e 2,3), com razão  $La/Yb_n$  variando entre 4,7 e 8,5.

#### **IV.5.4 GEOCRONOLOGIA**

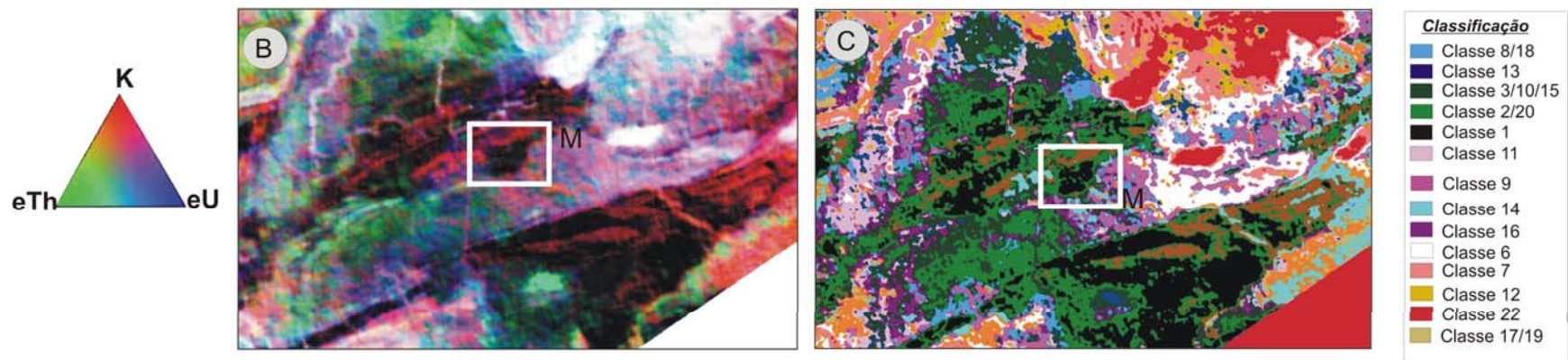
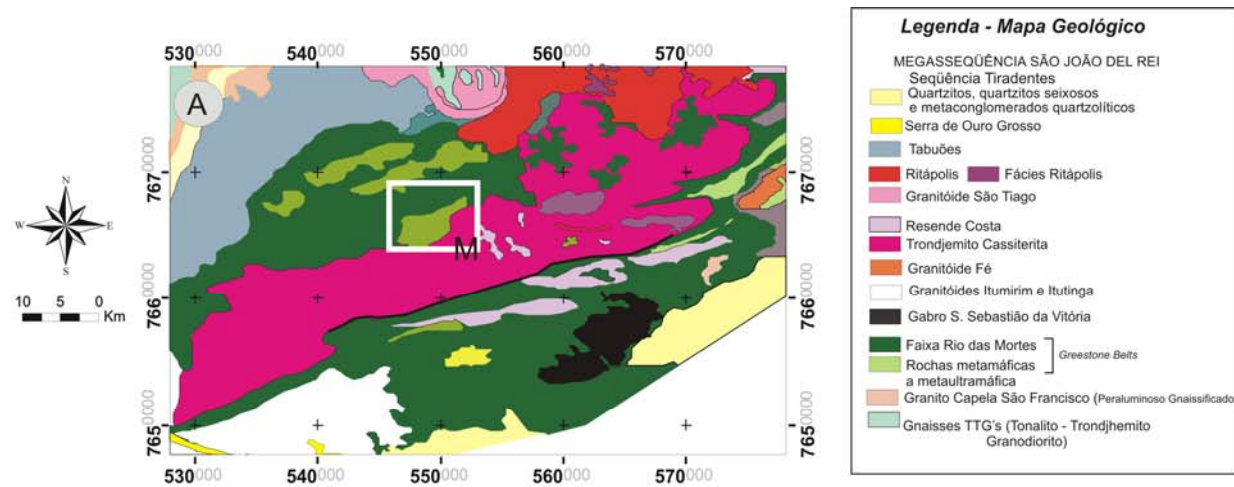
Toledo (2002) fez uma tentativa de datar as rochas do Manuel Inácio pelo método Sm/Nd em rocha total, entretanto devido ao intervalo restrito de variação das razões  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ , não foi possível obter uma isócrona Sm-Nd confiável.

Os dados isotópicos disponíveis na literatura indicam que a idade mínima deste é  $2.160 \pm 10$  Ma, equivalente à idade de cristalização do biotita granodiorito/tonalito foliado (Ávila *et al.* 1998), intrusivo no Manuel Inácio e em suas encaixantes.

#### **IV.5.5 CORRELAÇÕES DAS ASSINATURAS GAMAESPECTROMÉTRICAS, MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA**

Nas rochas básicas, a quantidade de radioelementos é expressivamente baixa. Tal afirmação provém de um estudo médio realizado por Dickson & Scott (1997), onde os autores observam que os teores de K, eTh e eU, aumentam de acordo com o teor de sílica. A partir dos dados derivados da classificação não supervisionada foi possível distinguir as rochas máficas-ultramáficas do Manuel Inácio, de suas rochas metassedimentares e metamáficas encaixantes em função dos mais baixos valores de radioelementos. Contudo, suas variações internas não são facilmente identificadas em dados gamaespectrométricos.





**Figura IV.14**– Em A –detalhe do corpo Manuele Inácio no mapa geológico integrado gerado neste trabalho; Em B observa-se a composição colorida em falsa cor RGB – R( canal de K), G (Canal de eTh) e B (Canal do eU) e em C, o resultado da classificação não supervisionada Isodata aplicada aos dados de K, eTh e eU.O círculo em preto destaca o Corpo Manuel Inácio.



#### IV.6 RESULTADOS E CORRELAÇÕES REGIONAIS

A análise integrada de dados gamaespectrométricos, geoquímicos e petrográficos mostram importantes correlações, sobretudo em corpos graníticos onde a concentração de K,  $eTh$  e  $eU$  é maior. Corpos graníticos apresentam maiores razões de radioelementos em virtude de sua composição. Os minerais essenciais tais como, feldspato potássico e muscovita são os hospedeiros principais do K em seus retículos cristalinos. O  $eTh$  e o  $eU$ , também são mais abundantes em granitóides, presentes nas fases acessórias, em quantidades traço em minerais como monazita, zircão, rutilo, titanita, apatita e epidoto (Tabela IV. 6). Em base no comportamento dos radioelementos em granitóides, e sua relativa abundância o mapeamento gamaespectrométrico neste tipo de rocha é mais eficaz.

Nas rochas básicas, as quantidades de radioelementos são expressivamente baixas. Através do mapeamento gamaespectrométrico aéreo, não é possível interpretar se a rocha básica mapeada refere-se a um termo mais primitivo como, por exemplo, um dunito, ou a uma rocha mais diferenciada. Os corpos máficos mapeados neste trabalho são de pequenas dimensões. Desta forma sugere-se outros métodos geofísicos para o detalhamento de suas variações internas, tais como levantamentos terrestres de gravimetria e magnetometria com malhas geofísicas menos espaçadas.

Em relação aos corpos graníticos do Cinturão Mineiro, rochas com diferentes fontes genéticas puderam ser individualizadas. Tal como abordado por Noce *et al.* (2000), dois grupos de plútons distintos foram caracterizados. Um grupo de granitos peraluminosos e outro de corpos tonalíticos (trondhjemitos) a granodioritos, cuja origem estaria relacionada a fontes de derivação mantélica e crustal. Esses corpos foram correlacionados e agrupados em suítes por Quéméneur & Noce (2000), baseado nas similaridades geoquímicas e geocronológicas.

**Tabela IV.6** – Teores de U, Th e razões Th/U em minerais de rochas ígneas (Harmon & Rosholt 1982).

Mineral	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U
<i>Minerais Acessórios</i>			
Allanita	30-700	500-5000	5-10
Apatita	5-150	20-150	1
Epidoto	20-50	50-500	2-6
Ilmenita	1-50		
Magnetita (e outros)	1-30	0,3-20	
Monazita	500-3000	25000-200000	25-50
Esfeno	100-700	100-600	1-2
Xenotima	500-35000	baixo	baixo
Zircão	300-3000	100-2500	0,2-1
<i>Minerais Essenciais</i>			
Biotita	1-40	0,5-50	0,5-3
Hornblenda	1-30	5-50	2-4
Feldsp. Potássico	0,2-3	3-7	2-6
Muscovita	2-8		
Olivina	0,01	baixo	
Plagioclásio	0,2-5	0,5-3	1-5
Piroxênio	0,01-40	2-25	4-5
Quartzo	0,1-5	0,5-6	2-5

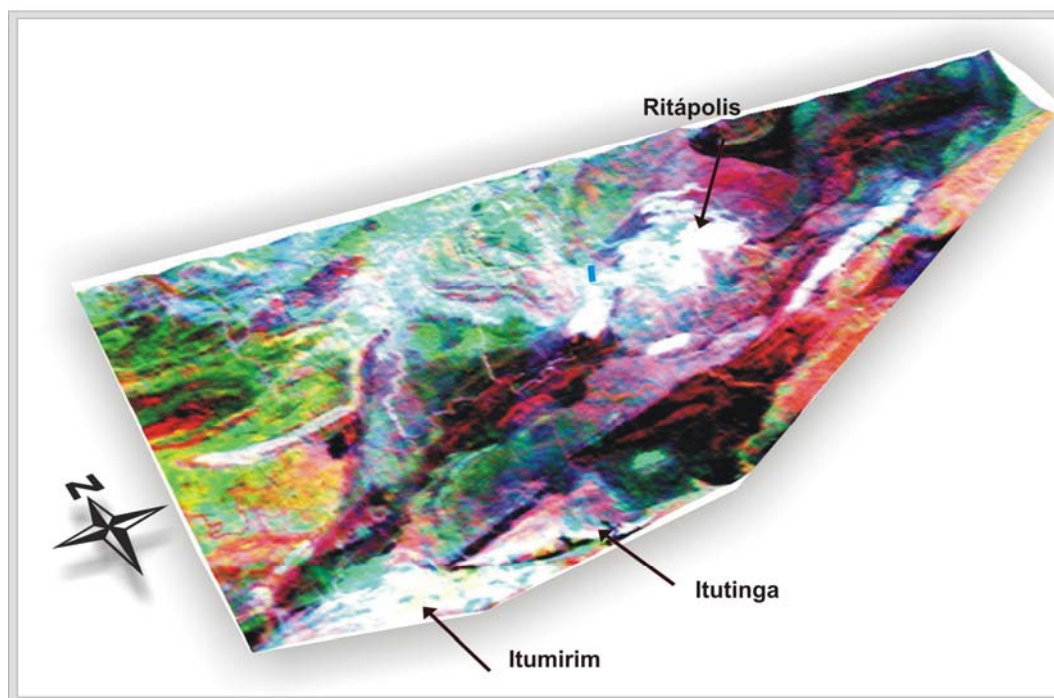
Analisando as assinaturas gamaespectrométricas e confrontando-as com a geoquímica convencional e isotópica disponível, observou-se que rochas com mesma variação de radioelementos pertenciam às mesmas suítes ígneas, desta forma, pode-se destacar:

1. Um grupo de corpos graníticos com altos teores de K, eTh e eU composto pelos corpos: Itutinga e Itumirim cujo comportamento geoquímico é semelhante ao Granito Ritápolis (Figura IV.15). Além da química semelhante, a idade de cristalização e modelo destes corpos também é congruente como apresentado abaixo:

- ✓ **Ritápolis** - cristalização:  $2.061 \pm 200$  Ma (Campos & Carneiro 2005,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  Evaporação de Zircão). Idade Modelo (Sm/Nd Rocha Total Noce *et al.*. 2000): 2,62 Ga, valores de  $\epsilon\text{Nd}(t)$  de -5,4.
- ✓ **Itutinga** (Ortognaisses Velhos) Cristalização:  $2.177 \pm 4$  Ma (Cherman 2004,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  Evaporação de Zircão). Idade Modelo (Sm/Nd Rocha Total): 2,31 Ga  $\epsilon\text{Nd}(t)$  -1,14.
- ✓ **Itumirim** (Ortognaisses Novos)  $2.202 \pm 5$  Ma (Cherman 2004,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  Evaporação de Zircão). Idade Modelo (Sm/Nd Rocha Total Cherman 2004): 2,43 Ga e  $\epsilon\text{Nd}(t)$  -4,58.



Ao comparar suas similaridades geológicas e fontes genéticas, Quéméneur *et al.*(2000) sugeriram que estes corpos fossem reunidos em uma só suíte, a qual denominaram de Suíte Granítica. O comportamento químico K, eTh e eU destes corpos, também expressam essas semelhanças geoquímicas e geocronológicas. Desta forma, é possível propor que todos os granitos com esta assinatura, no contexto geológico do Cinturão Mineiro sejam oriundos de fontes crustais arqueanas.



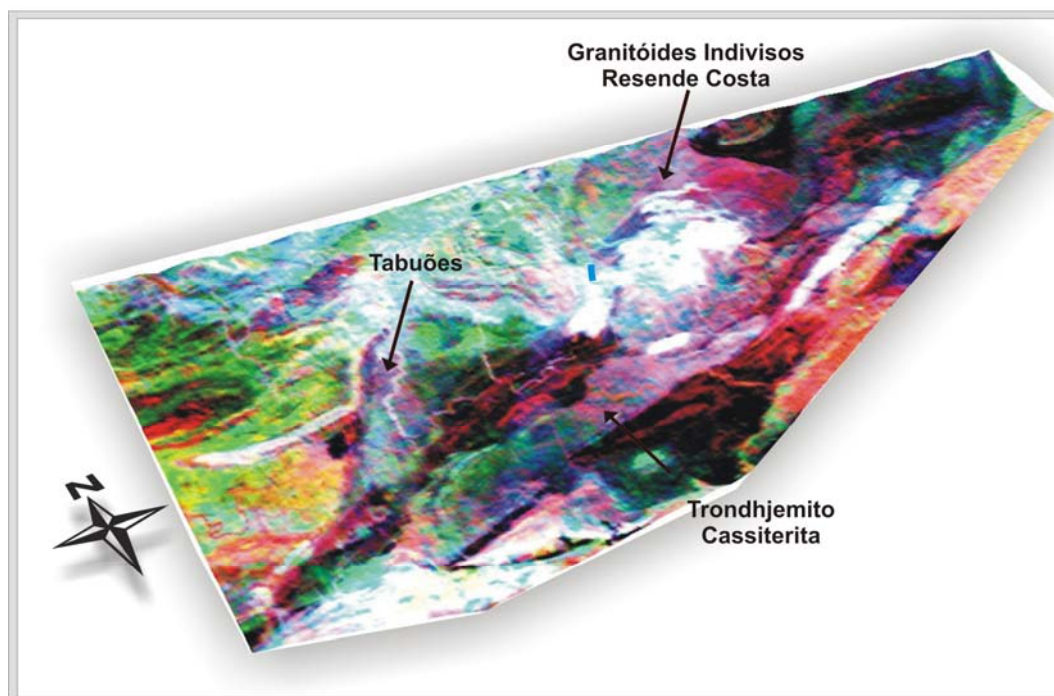
**Figura IV.15**– Visão em perspectiva da composição ternária RGB, ilustrando os corpos com mesma assinatura gamaespectrométrica e descritos na literatura como oriundos de fontes crustais arqueanas.

2. Um outro agrupamento de graníticos com médios valores de K, eTh e eU, compostos pelos plútons Trondjemito Cassiterita e Tonalito/Trondjemito Tabuões, apresentam também variação de radioelementos, comportamento geoquímico e geocronológico semelhantes (Figura IV.16):

- ✓ **Trondjemito Cassiterita** - Idades de Cristalização: 2.162 ± 10 Ma (U/Pb Teixeira *et al.*. 2005) e 1.962 ± 20 (Rb/Sr Noce *et al.* 2000). Idade Modelo (Ávila 2000, Sm/Nd em rocha total) 2,47 Ga e εNd(t) de -0,89.
- ✓ **Tonalito/Trondjemito Tabuões** - Idade de Cristalização: 1932 ± 020 Ma (Rb/Sr Quéméneur & Vidal (1989). Idade Modelo (Noce *et al.*2000 calculada para o tempo 2,0 Ga,) 2,43 Ga e εNd(t) de -2,3.



Esses corpos foram reunidos na suíte TTG (tonalíticas- trondjhemíticas e granodiorítica), proposta por Quéméneur *et al.* (2000), por apresentar idades modelos paleoproterozóicas e semelhanças geoquímicas. A fonte que deu origem a estes corpos não é consensual. Tal como já abordado em alguns momentos neste trabalho, Noce *et al.* (2000) sugerem que estes corpos sejam oriundos de mistura de material crustal arqueano e juvenil. Já Ávila (2000), acredita que pelo menos a origem do Cassiterita seja resultado da fusão direta de uma crosta oceânica. Além do Tabuões e Cassiterita, já contextualizados em trabalhos anteriores, rochas com assinaturas semelhantes a estes corpos foram mapeadas, como os ortognaisses indivisos Resende Costa.



**Figura IV.16** – Visão em perspectiva da composição ternária RGB, ilustrando os corpos com mesma assinatura geofísica, descritos na literatura como provenientes de fontes juvenis paleoproterozóicas.

3. O terceiro grupo de rochas, refere-se aos corpos com baixos teores de K, eTh e U, como o Manuel Inácio. Outros corpos com mesma assinatura foram mapeados na área de estudo. Contudo, esses corpos apresentam características geoquímicas, geológicas e geocronológicas distintas, o que não foi possível correlacioná-los.

De uma maneira geral, as classes gamaespectrométricas mapeadas correspondem aos processos identificados nos dados petrográficos e geoquímicos já



apontados na literatura. Para um melhor refinamento das técnicas utilizadas neste capítulo, outra sugestão seria a amostragem sistemática das variações faciológicas a partir do mapa de classificação não supervisionada. Desta maneira, variações mineralógicas identificadas na petrografia seriam correlacionadas com os *grids* geoquímicos, possibilitando uma melhor caracterização dos processos geológicos da formação destes corpos.



## V- CONCLUSÕES

A partir da análise integrada dos dados aerogeofísicos, foi possível redefinir os limites e distribuição dos corpos do Cinturão Mineiro, bem como o núcleo arqueano adjacente. Além das unidades previamente mapeadas, outras foram reconhecidas por meio da análise espacial. De especial interesse, novas feições estruturais foram descritas, além daquelas já anteriormente estudadas.

Em relação aos dois domínios e o limite que os divide pode-se concluir:

***O domínio arqueano*** é composto por uma assembléia de corpos arqueanos graníticos-gnaíssicos e as seqüências metassedimentares paleoproterozóicas. Este domínio é caracterizado na gamaespectrometria por seis grupos principais de assinaturas. Os lineamentos associados a este domínio é o grupo de lineamentos I. Interpretados como as estruturas mais antigas da área estudada. Em relação aos grupos de unidades associadas a este domínio conclui-se.

***O primeiro grupo*** localiza-se na porção extremo oeste deste domínio, e está associado a rochas que se alternam entre assinaturas moderadamente ricas em K, eTh eU, intercaladas a rochas ricas em eTh. Este grupo possui uma estruturação de caráter dúctil, expressas em dobras com direção plano axial aproximadamente E-W, relacionadas a uma associação de granitos e charnockitos. Os granitos estão fortemente foliados e por vezes são cortados diques máficos.

***O segundo grupo*** compreende corpos graníticos de assinatura alto K e alto eTh, interpretados como Granito Bonsucesso. Essas rochas ocorrem distribuídas em três corpos, cujo corpo principal se localiza próximo à cidade de Bonsucesso.

O quarto grupo está relacionado a um corpo descrito por Quéméneur *et al.* (2002) como granito peraluminoso gnaissificado, denominado pelo referido autor de Capela São Francisco.

**O quinto grupo** apresenta uma assinatura radiométrica de baixo K, alto eTh e alto eU, correspondente aos sedimentos proterozóicos da Bacia Ijaci correlacionáveis ao ciclo deposicional Carandaí.

**O último grupo** está relacionado aos TTG's que ocorrem na porção sul da área de estudo, cuja assinatura radiométrica é alto K, alto eTh e alto eU. Os afloramentos deste grupo ocorrem próximos à cidade de Ijaci e pode estar relacionados ao complexo metamórfico Campo Belo.

**A Serra de Bomsucesso**, que separa refere-se às rochas metassedimentares relacionadas ao Supergrupo Minas, da Serra de Bomsucesso. Estas litologias apresentam uma forte orientação NNE, caracterizadas na gamaespectrometria por assinaturas de médio K, alto eTh e na amplitude do sinal analítico, apresentam um alto gradiente magnético. Esta feição está realçada em todos os produtos analisados e corresponde ao limite entre o Cinturão Mineiro e o Núcleo arqueano.

**O domínio paleoproterozóico**, definido por Teixeira *et al.* (2000) de Cinturão Mineiro, apresenta as seguintes características:

**Seqüências do tipo Greenstone Belts** arqueanas/paleoproterozóicas, mapeadas como corpos de baixas concentrações de K, eTh e eU, orientados segundo o trend NE-SW. Correlacionadas com as ocorrências das faixas Nazareno e Rio das Mortes. A Faixa Nazareno está situada nas cidades de Nazareno-Itumirim, cuja assinatura marcante permitiu extrapolá-la até as mediações de Lagoa Dourada. Variações internas sutis dentro desta faixa, possibilitou mapear outras unidades dentro deste domínio. Tais como, os meta-andesitos, cuja assinatura diferencia-se por apresentar alto K, baixo eTh e baixo eU e corpos máficos espacialmente associados à Faixa Nazareno como o corpo ultramáficos Rio Grande. A Faixa Rio das Mortes é limitada pelo Tonalito Tabuões e o Trondhjemitó Cassiterita. Associadas a esta faixa foram mapeados corpos máficos intrusivos, tais como, Rio dos Peixes e Manuel Inácio. O tipo de lineamentos associados a estas rochas pertencem ao grupo II, descrito como feições de alta amplitude do sinal analítico e interpretadas

Corpos félsicos, mapeados unidades gamaespectrométricas ricas em K, eTh e eU, interpretadas como granitos *sensu strictu*. A este grupo integram-se os corpos Ritápolis,



Itutinga e Itumirim. O corpo Ritápolis, é intrusivo no embasamento granito-gnáissico e é limitado a oeste pelo corpo São Tiago e a sul pelo corpo Cassiterita. Além das variações composicionais acima citada, o Ritápolis apresenta porções isoladas com assinaturas distintas. Estas feições, ricas em urânio, correspondem aos enclaves do embasamento TTG. O corpo Itumirm exibe assinatura semelhante. Este corpo é limitado a leste pela Serra de Ouro Grosso, e a norte pela Faixa Rio das Mortes. Como no Ritápolis, apresenta feições isoladas, também interpretadas como enclaves do embasamento TTG. O Corpo Itutinga tem uma forma de cunha, e está limitado pela parte mais delgada da Faixa Nazareno a norte, e pela serra de Ouro Grosso a sul e por um outro corpo a oeste com assinatura de corpo tonalítico.

*Este grupos de assinaturas* variam de alto K, alto eTh e médio eU a alto K, médio eTh e médio eU, interpretadas como os granitóides de composição diorítica, granodiorítica, tonalítica e trondjhemiticas. A este grupo, reúnem-se os corpo Tabuões e Cassiterita. E um outro corpo localizado na região homônima de Resende Costa. O corpo Cassiterita é intrusivo na Faixa Rio das Mortes e apresenta uma forma alongada, seguindo a direção NE/SW. Neste trabalho, o Cassiterita foi extrapolado para regiões onde inclusive fora mapeado como corpo Ritápolis. O Cassiterita é entendido como um corpo que varia em composição de tonalito, diorito a trondhjemitito, ocorrendo numa extensão de 90 Km<sup>2</sup>. Em campo, este corpo é fortemente foliado, e apresenta uma série de enclaves que variam de xenólitos da Faixa Nazareno a xenólitos do embasamento TTG. Na sua borda sul, há uma intercalação de restos da Faixa Nazareno com as suas rochas, a qual é referida na literatura como Dobra de Nazareno (Quéméneur *et al.* 2003). Intrusivo no Cassiterita, observa-se um corpo pequeno, mapeado anteriormente como Ritápolis, cuja assinatura é idêntica a ele. A cartografia do corpo Tabuões é um desafio, pois encontra-se muito intemperizado. Ele é limitado à oeste pela Serra de Bom Sucesso, leste pelo São Tiago e a sul pela Faixa Rio das Mortes. Em campo, são rochas fortemente foliadas, mapeadas geralmente em saprolitos de cortes de estradas. Os lineamentos que estão relacionados a este agrupamento de corpos é grupo III, interpretado como a foliação paleoproterozóica. Cabe ressaltar que nos corpos já mapeados como pós-tectônicos como o Ritápolis a deformação transamazônica não é penetrativa. O corpo São Tiago, apresenta lineamento que são interpretados como

estruturas mais antigas que do Cinturão Mineiro. Para os demais corpos, a foliação paleoproterozóica é observada principalmente nas derivadas verticais e horizontais.

**Corpos máficos:** As assinaturas deste grupo são as que possuem menores valores de radioelementos (baixo K, baixo eTh eU baixo). Neste grupo inclui vários corpos que *a priori* não apresentam relações genéticas entre si, descritos abaixo em ordem cronológica. Os corpos máficos e ultramáficos mapeados neste grupo, associados as faixas Rio das Mortes é o Manuel Inácio e Rio dos Peixes. Na Faixa Nazareno foram mapeados os corpos Forro e Rio Grande. Outro corpo mapeado é o Gabro São Sebastião da Vitória, cuja assinatura é idêntica aos corpos citados. Além destes corpos, foi mapeado um corpo em forma de cunha com esta assinatura na região de Rezende Costa. Acredita-se que este corpo pertença à Faixa Rio das Mortes, extrapolado até a região de Lagoa Dourada.

**Bacias proterozóicas:** Neste domínio foi mapeada a Bacia São João Del Rei, interpretada na gamaespectrometria por Alto K, Baixo eTh, e Alto eU. Associados a esta bacia, estão os lineamentos na direção N10°W que cortam apenas esta megasseqüência e parecem corresponder aos diques máficos descritos por (Ribeiro *et al.* 1995) que seccionam somente as megasseqüências supracitadas, cuja idade é 1,8 e 1,3 Ga (Sm/Nd), respectivamente.

**Em relação aos corpos plutônicos** do Cinturão Mineiro, pode-se observar que rochas com diferentes fontes genéticas puderam ser individualizadas. Tal como abordado por Noce *et al.* (2000), dois grupos de plútons distintos foram caracterizados. Um grupo de granitos peraluminosos e outro de corpos tonalíticos (trondhjemitos) a granodioritos, cuja origem estaria relacionada a fontes de derivação mantélica e crustal. Esses corpos foram correlacionados e agrupados em suítes por Quéméneur & Noce (2000), baseado nas similaridades geoquímicas e geocronológicas, segue abaixo uma correlação com esses dados.

**O primeiro grupo** é composto por corpos graníticos com altos teores de K, eTh e eU, representados pelas unidades, Itutinga e Itumirim, cujo comportamento geoquímico é semelhante ao Granito Ritápolis.

**O segundo agrupamento** reúne corpos graníticos com médios valores de K, eTh e eU, compostos pelos plútons Trondhjemito Cassiterita e Tonalito/Trondhjemito Tabuões,

apresentam também variação de radioelementos, comportamento geoquímico e geocronológico semelhantes.

**O terceiro grupo de rochas**, refere-se aos corpos com baixos teores de K, eTh e U, como o Corpo Manuel Inácio. Outros corpos com mesma assinatura foram mapeados na área de estudo. Contudo, esses corpos apresentam características geoquímicas, geológicas e geocronológicas distintas, o que não foi possível correlacioná-los.

Por fim, a integração dos dados ilustra a geração de corpos plutônicos relacionados espacial e temporalmente, contrastando diferentes fontes de origem, tal como apontado por Noce *et al.* (2000). Embora muito esforço tenha-se voltado ao entendimento geológico desses corpos, muitas dúvidas persistem, sugerindo-se novos trabalhos de campo, principalmente na área abordada neste trabalho, onde a cartografia geológica, até então era escassa.



## VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. DE. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira b. Div. Geol. Mineral. Rio de Janeiro, 241, 36p.
- ALKMIM, F.F. 2004. O que faz de um Cráton um Cráton? O Cráton do São Francisco e as relações Almeidianas ao delimita-lo in Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A; Barreiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B (ed). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio de Almeida. Editora Beca. São Paulo, 17-34p.
- ÁVILA C.A. 2000. Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton do São Francisco, Região de São João Del Rei, Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 401 p.
- BARBOSA. O. 1954. Evolution du Geosynclinal Espinhaço. In: International Geological Congress, 19. arger, 1952. Arger, Sect.13, Fasc.14P.17-36.
- BABINSKI, M.; CHEMALE, F.; VAN SCHUMUS, W.R. 1995. The Pb/Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Precambrian Research, 72:235-245p.
- BIZZI L.A., SCHOBENHAUS C., BAARS F.J., GONÇALVES J.H., DELGADO I.D.M., ABRAM M.B., LEÃO NETO R., MATOS G.M.M., SANTOS J.O.S., SILVA L.C., Vidotti R.M. 2002. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na Escala 1:2.500.000. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H. Gonçalves (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG. 2003. CPRM, Editora da Universidade de Brasília. Brasília.
- BLUM, M. L. B., 1999. Processamento e Interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia regional e à prospecção mineral. Brasília. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB, 229p.
- CAMPOS, J. C. S. & CARNEIRO, M. A. 2005. Granitóides Neoarqueanos e Paleoproterozóicos ao Longo do Lineamento Jeceba-Bomsucesso (Cráton São Francisco Meridional): Gênese e Implicações Tectônicas in III Simpósio do Cráton do São Francisco. Salvador, 196-199 p.
- CARMO, S.D. 1978. Programação e execução do Projeto Geofísico Brasil-Canadá. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, *Anais* 5: 2233-2247.
- CARNEIRO, M. A.; OLIVEIRA, A.H.. 2005. Tectonic Evolution of Southern São Francisco Craton: Three Tectonothermal Events Based on <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar isotopic data.. In: Simpósio Sobre o Cráton São Francisco, III, 2005. Anais. Salvador : Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. 1.

- CARNEIRO, M. A. CARVALHO JÚNIOR, I. M., TEIXEIRA, W. 1998. Petrologia, geoquímica e geocronologia dos diques máficos do Complexo Metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero) e suas implicações na evolução crustal do craton do São Francisco meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**(1) 29-44.
- CHERMAM, A. F. 2004. Geologia, Petrologia e Geocronologia de Ortognaisses Paleoproterozóicos da Borda Meridional do Cráton São Francisco, na Região entre Itumirim e Nazareno- Minas Gerais. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, 259 p.
- CORDANI, U.G.; SATO, K. 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Journal of International Geoscience*, **22** (3) 167-173.
- DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG Congresso. Brasileiro de Geologia., 30. Recife, Anais 2: 597-602.
- DARNELEY, ARTHUR G., 1991. The Development of Airborne Gamma-ray Spectrometry: Case Study in Technological Innovation and Acceptance, *Nuclear Geophysics*, 5 (4) 377-402.
- DORR, J.V.N.II 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: U. S. Geological Survey Professional Paper 641-A, 110.
- DORR J.V II.; GAIR J.E.; POMERENE J.B.; RYNEARSON G.A. 1957. Revisão da estratigrafia precambriana do Quadrilátero Ferrífero: Brasil, DNPM-DFPM, 31 p. (Avulso 83).
- HARMON R.S., ROSHOLT J.N. 1982. Igneous rocks. In: Ivanovich M., Harmon R.S. (ed.) Uranium series disequilibrium: Applications to environmental problems. Oxford, Clarendon Press, 571 p.
- ISLES, D.J. HARMAN, P.G. & CUNNEN, J. P. 1989. The contribution of high resolution aeromagnetics to archaean gold exploration in the region, Western Australia, *Economic Geology, Monograph*, **6** 389-397.
- ISLES D, VALENTA R, COOKE A. 1994. Interpretation and Structural Analysis of Aeromagnetic Data, World Geoscience Corporation Ltd and Victorian Institute of 24 Proceedings of GeoComputation '97 & SIRC '97 Earth and Planetary Sciences Course Notes, 25- 27.
- JAQUES, A.L. 1993. Second generation maps. *GIS USER*. **5** 38-41.
- JAQUES, A. L. WELMAN, P. WHITAKER, A & WYBORN, D. 1997. High Resolution Geophysics In Mapping Modern. *Geophysics*, **17** (2) 159-173.

- LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S.A., 2001. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2. Projeto Pitangui – São João Del Rey – Ipatinga. Volume I, Texto técnico.
- LUIZ, J.G. & SILVA, L.M.C. 1995. Geofísica de Prospecção. Belém, UFPa, Cejup, 311p.
- NOCE M.N., TEIXEIRA W., QUÉMÉNÉUR J.J.G., MARTINS V.T.S., BOLZACHINI E. 2000. Isotopic signatures of Paleoproterozoic granitoids from the southern São Francisco Cráton and implications for the evolution of the Transamazonian Orogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, **13** 225-239.
- MARTINS, M.; TEIXEIRA, L.B. & BRAUN, O.P.G. 1993. Considerações sobre a estratigrafia da Bacia do São Francisco com base em dados de subsuperfície. II Simp. do Cráton do São Francisco, Salvador, *Anais*, 167-169.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G.; ALMEIDA-ABREU, P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U-Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Simp. Geol. de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MACHADO, N.; CARNEIRO, M.A. 1992. U-Pb Evidence of Late Archeantectono-thermal Activity in the Southern São Francisco Shield, Brazil. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29:2341-2346.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C. 1996. U-Pb geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, 79:347-361.
- MILIOLI, G. 1999. Abordagem ecossistêmica para a mineração: Uma perspectiva comparativa para Brasil e Canadá. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Tese de Doutorado.
- PIRES, F.R.M 1978. The Archean Barbacena Greenstone Belts in its typical development and the Minas Itabirite distribution at the Lafaiete district, Minas Gerais, Brazil. *Anais de Academia Brasileira de Ciências*, 50 599-600.
- PINESE, J.P.P. 1997. Geoquímica isotópica e aspectos petrológicos dos diques máficos Pré-Cambrianos da região de Lavras (MG), porção sul do Cráton São Francisco, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo,. Tese de doutorado, 178 p.
- QUÉMÉNÉUR, J.J.G., VIDAL, PH, 1989. Primeiras datações radiométricas dos granitos da região o de São o João Del Rei (Minas Gerais) In Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte, *Anais* 50-54.

- QUÉMÉNEUR, J.J.G. & BARAUD, E. R. 1982. Geologia da área pegmatítica de São João Del Rei, Minas Gerais. Brasil. In: Congresso Latino Americano de Geologia. 5. Argentina, Actas... **1** 39-53.
- QUÉMÉNEUR, J.J.G. & BARAUD, E. R. 1983. Estrutura do embasamento Arqueano e geologia econômica da pegmatítica de São João Del Rei, Minas Gerais. In: Simpósio Geologia Minas Gerais. **2**. Belo Horizonte. **1** 449-400.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G.; NOCE, C. M. 2000. Geochemistry Petrology of felsic and mafic suites related to the paleoproterozoic transamazonian orogeny in Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30** 087-090.
- QUÉMÉNEUR, J. J. G., RIBEIRO, A., TROUW, R. A. J., PACIULLO, F. V. P., HEILBRON, M., 2003. Geologia da folha Lavras 1:100000. In: Antonio Carlos Pedrosa Soares. (Org.). Projeto Sul Minas, Belo Horizonte, 259-316.
- RIBEIRO, A.; Ávila, C.A.; Valença, J.G. ; Paciullo, F.V.P. ; Trouw, R. A. J. 2003. Geologia da Folha São João del Rei 1:100.000. Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Brasileiro, Belo Horizonte, **3** 521-622.
- RIBEIRO, A.; Trouw, R. A. J.; Andreis, R.R.; Paciullo, F.V.P. ; Valença, J.G. 1995. Evolução de bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, Brasília, **25** (4) 235-248.
- COSTA, L. T. R. ; VALE, A. G. ; SILVA, A. M. 2002. Integração de Dados Aerogeofísicos e Imagens de Sensores Remotos como Ferramentas para o Mapeamento Geológico na Região Amazônica: O exemplo do Projeto PROMINRENCA. In: Evandro Luiz Klein, Marcelo Lacerda Vasquez & Lúcia Travassos da Rosa-Costa. (Org.). Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém, **03** 9-318.
- SHIVES, R. B. K. CHARBONNEAU, B.W & FORD, K. L. 1997. The detection of Potassic by Gamma-ray spectrometry – Recognition of Alteration Related to Mineralization. *Proceedings of Exploration Fourth Decennials International Conference on Mineral Exploration*, 747-752.
- SILVA, A. M. ; MCCAFFERTY, A. E. ; PIRES, A. C. B. ; XIA, H. ; ENDO, I. 1999. High Resolution Aeromagnetism as an aid to geologic mapping of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: 6 th International Congress of the Brazilian Geological Society, Rio de Janeiro. Anais do 6 th International Congress of the Brazilian Geological Society, CD.
- SILVA, L. C. DA; ARMSTRONG, R., NOCE, C. M.; CARNEIRO, M. A.; PIMENTEL, M., PEDROSA-SOARES, A. C.; LEITE, C. A.; VIEIRA, V. S; SILVA, M. A. DA;



- CASTRO PAES, V. J. DE; CARDOSO FILHO, J. M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte ii: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geologia* **32** 513-528.
- SILVA, A. M.; MCCAFFERTY, A. E.; PIRES, A. C. B. 2003. A new statistical approach to map bif-hosted gold deposits in Rio Das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil, *Revista Brasileira de Geociências*, **33**.
- SILVA, A. M., SOUZA FILHO, C. R., TOLEDO, C. L. B., DANTAS, E. L. 2003. Amalgamation of different crustal blocks in the Southernmost Part of the São Francisco Craton constrained by airborne geophysical data, Brazil. *Anais do 8 th International Congress of The Brazilian Geophysical Society*, CD.
- SILVA, A. M.; SOUZA FILHO, C. R.; TOLEDO, C.L.B.; DANTAS, E. L. 2005. New Insights on the Relationship Between the Paleoproterozoic Mineiro Belt and the Archean Basement of the São Francisco Craton (Brazil) Supported by Geophysical Data In XLII Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, CD.
- SOUZA FILHO, C. R. & COSTA, A.P. 2003. Geotecnologias Aplicadas à Geologia. *Revista Brasileira de Geologia*. 33.
- SOUZA FILHO, C. R. 2005. O Relevo das Américas como nunca antes visto. *Revista INFOGEO, Sensor: Edição 30*.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H. E. (1984). *Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1: 2.500.000*. Brasília, DNPM, 500p.
- SCHOWENGERDT, R. A. 1997. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press. London. Second Edition.
- SHETSELAAR, E.M. 2002. Petrogenetic interpretation from gamma - ray spectrometry and geological data : the Arch Lake zoned peraluminous granite intrusion, western Canadian shield. In: *Exploration Geophysics*, 33(2002)1, p 35-43.
- TOLEDO, C. L. B., 2002. *Evolução Geológica das Rochas Máficas e Ultramáficas no greenstone belt Barbacena, Região de Nazareno, MG, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado, 308p*.
- TEIXEIRA, W., 1985. *A evolução Tectônica da porção meridional do Cráton São Francisco com base em interpretações geocronológicas*. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 207p.
- TEIXEIRA, W., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K., TAYLOR, P.N., VAN SCHUMUS, R., 1987. Archean and Early Proterozoic crustal evolution in the southern part of the

- São Francisco Craton. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, Salvador, 37-40p.
- TEIXEIRA, W., FIGUEIREDO, M.C.H., 1991. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Craton, Brazil: A review. *Precambrian Research*, **53** (1):1-22.
- TEIXEIRA, N.A. 1992. Contribuição à Geologia do Greenstone Belt Itumirim-Nazareno (MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, *Anais* 1: 476-477.
- TEIXEIRA, W., CARNEIRO, M.A., NOCE, C.M., MACHADO, N., SATO, K., TAYLOR, P.N., 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research* **78** 151-164.
- TEIXEIRA, W., ÁVILA, C. A. CORDANI, U.G. MARTINS, V.T.S., VALENÇA, J. Dados Isotópicos (U/Pb, Pb/Pb, Sm/Nd, Rb/Sr) do Plutonismo Paleoproterozóico do Cinturão Mineiro, Porção Meridional do Cráton São Francisco: Implicações Tectônicas In III Simpósio do Cráton do São Francisco Salvador, 174-177.
- TEIXEIRA W., SABATÉ P., BARBOSA J., NOCE C.M. & CARNEIRO C.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos A. *Tectonic Evolution of South America*, 101-137.
- VALENÇA, J. G. PACIULLO, F. V. P. RIBEIRO, A. E. ANDREIS, R. R. 1998. Fomatiitos da Fazenda Chapadinha, Faixa Greenstone Itumirim-Tiradentes, Borda Sul do Cráton São Francisco, Minas Gerais, In Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, 62 p.
- VALENÇA, J. G. SILVA, M.A. SCHIMIDT, R. S. TROW R. A. J. NOCE, C. M. 2000. Transamazonian gabbroic intrusive rocks from the southernmost São Francisco Cráton, Brazil. In: International Geological Congress, XXXI, Rio de Janeiro.