



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E  
AEROGEOFÍSICOS APLICADOS A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA E NO  
CONTROLE DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DOS *GREENSTONE*  
*BELTS* DE GUARINOS E PILAR DE GOIÁS.**

Dissertação de Mestrado Nº 273

**KLEYVER LENNO DA PAIXÃO ATAÍDE**

**BRASÍLIA**  
**2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E  
AEROGEOFÍSICOS APLICADOS A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA E NO  
CONTROLE DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DOS *GREENSTONE*  
*BELTS* DE GUARINOS E PILAR DE GOIÁS.**

**KLEYVER LENNO DA PAIXÃO ATAÍDE**

**Orientador: Prof. Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig**

**BRASÍLIA**  
**2010**

KLEYVER LENNO DA PAIXÃO ATAÍDE

*Dissertação de Mestrado submetida como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, na subárea de prospecção mineral.*

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. Dr. Claudinei Gouveia de Oliveira  
**Orientador**

---

Prof. Dr. Raul Minas Kuyumjian  
**Examinador**

---

Profª. Dra. Mônica Giannoccaro Von Huelsen  
**Examinador**

BRASÍLIA  
2010

## DEDICATÓRIA

---



---

*Aos meus queridos pais, Maria e Luíz Ataíde;  
irmãos, Kleber e Walber; e a minha namorada,  
Karlinda, por toda a ajuda, apoio e compreensão.*

## **EPÍGRAFE**

---

*“A vida não é medida  
pelo número de vezes que  
respiramos, mas pelos lugares e  
momentos capazes de tirar o  
nosso fôlego”*

*(Patrícia Schulz - 1.000 lugares para  
conhecer antes de morrer)*

## **AGRADECIMENTOS**

---

- A Deus;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela ajuda financeira;
- A Universidade de Brasília e ao Instituto de Geociências da UnB, pelo espaço e ensino usufruído;
- Aos Professores Dr. Henrique Llacer Roig e Claudinei Gouveia de Oliveira pela ótima oportunidade de mestrado no IG- UnB;
- À Yamana Gold Inc. Por toda ajuda e suporte dado durante os trabalhos de campo. Em especial à toda equipe do Projeto de Exploração Pilar, aos geólogos, Dr. Marcelo Carvalho 'Carreras' (Gerente de Exploração), Vinicius 'Bacalhau', Daniela Schievano de Campos; e aos técnicos Tião, Jeferson, pela atenção, companheirismo e pelas inúmeras ajudas prestadas durante os serviços;
- Aos Professores Dr. Raul Minas Kuyumjian e Hardy Jost, por toda a ajuda durante a elaboração dessa dissertação, tais como: consultas, dicas e revisões;
- À Professora Dra. Mônica Giannoccaro Von Huelsen, pelas inúmeras ajudas com os dados aerogeofísicos;
- Aos amigos da pós-graduação Erico Zacchi e Thais Carrino, por várias ajudas prestadas nos tratamentos dos dados aerogeofísicos;
- Aos meus Pais e irmãos, pelos inúmeros incentivos, apoios e, principalmente, compreensão durante todo o meu período de estudos;
- À minha adorável Karlinha, pelas inúmeras ajudas prestadas durante esse trabalho, bem como por todo o apoio, carinho e pelos momentos de descontração;
- A todos os amigos que me ajudaram de modo direto ou indiretamente na execução desse trabalho.

AGRADECIMENTOS .....	i
SUMÁRIO .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE TABELAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. Apresentação .....	11
1.2. Localização e Vias de Acesso .....	12
1.3. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivos Gerais: .....	14
1.2.2. Objetivos Específicos: .....	14
1.4. Etapas do Trabalho, Métodos, Base de Dados e Equipamentos.....	14
<b>CAPÍTULO 2: GEOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
2.1. Apresentação .....	19
2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	19
2.2.1. Terrenos Granito – Gnaissico .....	22
2.2.1.1. Dados Geocronológicos.....	24
2.2.2. Terrenos Granito- <i>Greenstone</i> Arqueanos.....	25
2.2.1.1. Contexto Geológico do <i>Greenstone belt</i> de Guarinos.....	25
2.2.1.1. Contexto Geológico do <i>Greenstone belt</i> de Pilar de GO.....	29
2.3. ARCABOUÇO ESTRUTURAL E EVOLUÇÃO.....	31
2.4. MINERALIZAÇÕES E OCORRÊNCIAS AURÍFERAS DA PROVÍNCIA CRIXÁS. .....	36
2.4.1. Depósitos auríferos do <i>Greenstone Belt</i> de Crixás.....	36
2.4.2. Depósitos auríferos do <i>Greenstone Belt</i> de Pilar de Goiás.....	36
2.4.3. Depósitos auríferos do <i>Greenstone Belt</i> de Guarinos.....	39
2.4.3.1. Depósito de Maria Lázara .....	39
2.4.3.2. Depósito Caiamar .....	41

<b>CAPÍTULO 3: PROCESSAMENTO DE DADOS MULTIFONTE</b> .....	44
3.1. Apresentação .....	44
3.2. AEROGEOFÍSICA .....	44
3.2.1. Descrição dos Aerolevantamentos .....	45
3.2.2. Processamento dos Dados .....	46
3.2.3. Dados Magnetométricos .....	47
3.2.4. Dados Gamaespectrométricos .....	52
3.2.4.1. Potássio Anômalo.....	56
3.3. SENSORIAMENTO REMOTO .....	59
3.3.1 Descrição do Sensor ALOS e suas aplicações .....	59
3.3.2 SRTM ( <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i> ) .....	62
3.3.3. Processamento dos Dados .....	62
 <b>CAPÍTULO 4: INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS</b> .....	66
4.1. Apresentação .....	66
4.2. Resultados e Discussões .....	66
 <b>CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES, DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	89
 <i>Referências bibliográficas</i> .....	93

<b>Figura 1.1.</b> Mapa de Localização geográfica e vias de acesso da área estudada sobreposta ao modelo digital de elevação (SRTM).....	13
<b>Figura 1.2.</b> Fluxograma das etapas de elaboração da dissertação. ....	18
<b>Figura 2.1. a)</b> Mapa de províncias tectônicas da América do Sul: (i) Província do Paraná; (ii) Província da Mantiqueira; (iii) Província do São Francisco; (iv) Borborema e (v) do Parnaíba. <b>b)</b> mapa destacando o Bloco Arqueano de Goiás com seus limites e subdivisões (em greenstones e complexos) e <b>c)</b> Mapa simplificado da região da Província Crixás.....	22
<b>Figura 2.2.</b> Mapa geológico do Greenstone belt de Guarinos e Pilar de Goiás (segundo LACERDA, 1996).....	27
<b>Figura 2.3.</b> Colunas estratigráficas dos greenstone belts do Bloco Arqueano de Goiás: a) Crixás; b) Guarinos e c) Pilar de Goiás. Segundo Jost <i>et al.</i> (2008) .....	30
<b>Figura 2.4.</b> Sumário da evolução geológica dos terrenos granito-greenstone arqueanos de Goiás com base nos dados de campo e geocronológicos (JOST e FORTES, 2001).....	32
<b>Figura 2.5.</b> Mapa estrutural simplificado do terreno granito-greenstone da região de Crixás - Pilar de Goiás, com as zonas de cisalhamento (ZC) regionais em azul, representando o último evento (modificado de Queiroz 2000, Pimentel <i>et al.</i> 2000 e Moreton <i>et al.</i> (org). 2008) .....	34
<b>Figura 2.6.</b> Mapa geológico dos greenstones belts de Guarinos e Pilar de Goiás e suas respectivas ocorrências auríferas (modificado de Moreton <i>et al.</i> (org). 2008). ....	42
<b>Figura 3.1.</b> Articulação da área de trabalho e das áreas recobertas pelo Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás.....	45
<b>Figura 3.2.</b> Fluxograma das etapas e produtos do processamento de dados aerogeofísicos: Gamaespectrométricos e Magnetométricos.....	47
<b>Figura 3.3.</b> Produtos magnetométricos obtidos a partir do CMA.....	48
<b>Figura 3.4.</b> Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16); (17) garimpo Natal] sobreposta as imagens <b>(a) ASA, (b) Dz...</b> .....	50
<b>Figura 3.4.</b> Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal] sobreposta as imagens <b>(c) AGHT e (d) ISA...</b> .....	51
<b>Figura 3.5.</b> Variação nos conteúdos médios de K, U e Th para rochas ígneas com o aumento progressivo de SiO <sub>2</sub> (DICKSON & SCOTT, 1997). ....	52
<b>Figura 3.6.</b> Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10)	

depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia] sobreposta as imagens **(a) RGB e (b) CMY**..... 55

**Figura 3.7.** Imagem do modelo digital de elevação do terreno greenstone belt de Guarinos em perspectiva 3D com exagero vertical de 2..... 56

**Figura 3.8.** Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia] sobreposta as imagens **(a) CT e (b) K aômalo**..... 58

**Figura 3.9.** Arranjo esquemático do sensor PRISM com os sistemas ópticos *back*, nadir e front com largura da faixa imageada de 35 km..... 60

**Figura 3.10.** Imagem ALOS do sensor PRISM do greenstone belt de Guarinos e Bloco Moquéem com ocorrências auríferas sobrepostas. Nota-se as principais ocorrências auríferas sobrepostas a imagem [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal]..... 64

**Figura 3.11.** Modelo Digital de Elevação (SRTM) com as principais ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal]..... 65

**Figura 4.1.** Produto integrado de Imagem de Contagem Total com a imagem do sensor PRISM (ALOS) do greenstone belt de Guarinos e Bloco Moquéem com destaque as ocorrências auríferas [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal]..... 68

**Figura 4.2.** Lineamentos estruturais extraídos da imagem do sensor PRISM (ALOS) do greenstone belt de Guarinos e Bloco Moquéem com destaque as ocorrências auríferas [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal]..... 69

**Figura 4.3.** Lineamentos magnéticos extraídos da imagem ASA, onde nota-se visivelmente os sistemas de empurrões ao norte e ao sul dos dois greenstones arqueanas (Guarinos e Pilar de Goiás), bem como as zonas de cisalhamentos que separam os complexos graníticos

(representado por alto U e baixo K) dos greenstones (representados pela alta resposta em K e baixo U). .....	71
<b>Figura 4.4.</b> Mapa de domínios estruturais simplificado elaborado para demonstrar as diferentes orientações preferências dos esforços tectônicos.....	73
<b>Figura 4.5.</b> Mapa de domínios magnéticos gerados a partir da imagem ASA, demonstrando os altos e baixos valores magnéticos, com os lineamentos magnéticos extraídos do AGHT sobreposto.....	75
<b>Figuras 4.6.</b> Deconvolução de euler com <b>(a)</b> índice estrutural 1, tolerância 7 e janela 10; e <b>(b)</b> índice estrutural 0, tolerância 12 e janela 10. ....	77
<b>Figuras 4.7.</b> Domínios radiométricos sobrepostos aos produtos <b>(a)</b> CMY e <b>(b)</b> RGB. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia] .....	79
<b>Figuras 4.7.</b> Domínios radiométricos sobrepostos aos produtos <b>(c)</b> CT+MDT+CMYe <b>(d)</b> Potássio anômalo. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal]. ....	80
<b>Figura 4.8.</b> Imagem de K Anômalo sobreposto a imagem PRISM/ALOS. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].....	82
<b>Figura 4.9.</b> Mapa de domínios gamaespectrométricos da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].....	84
<b>Figura 4.10.</b> Mapa de domínios geológicos + feições estruturais da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].....	86
<b>Figura 4.11.</b> Mapa geológico, segundo a SIG-GO (2008), da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2)	

Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].. ..... 87

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 2.1.</b> Síntese das características dos depósitos e ocorrências de ouro da Província aurífera Crixás (modificado de JOST & FORTES, 2001).....	43
<b>Tabela 3.1.</b> Característica dos levantamentos aerogeofísicos da 1ª e 3ª fase do Estado de Goiás.....	46
<b>Tabela 3.2.</b> Especificações técnicas básicas do ALOS (Fonte: NOVATERRA GEO).....	59
<b>Tabela 3.3.</b> Características do sensor PRISM (Fonte: NOVATERRA GEO).....	23
<b>Tabela 3.4.</b> Principais características e aplicações dos sensores do satélite ALOS. ....	61

Os *greenstone belts* de Guarinos e Pilar de Goiás encontram-se inseridos na porção setentrional do maciço de Goiás, fazendo limites com os complexos granito-gnaissicos: Caiamar, Moquém e Hidrolina. Diversos trabalhos foram realizados nesses *greenstones* ao longo dos anos, mas uma integração de informações, utilizando dados aerogeofísicos e dados de sensoriamento remoto, se fez necessário para a realização de um melhor mapeamento de domínios geológicos, bem como um melhor entendimento da evolução geológica da área desses *greenstone belts*.

As imagens aerogeofísicas utilizadas (magnetometria e gamaespectrometria) foram de suma importância no estudo dessas áreas, tanto no âmbito geológico-estrutural quanto no âmbito mineralizador, esse último verificado pela técnica do potássio anômalo, onde as ocorrências auríferas, tanto de Guarinos quanto de Pilar de Goiás, estão associadas aos processos de hidrotermalismo. Uma síntese das características dos depósitos auríferos da região foi de suma importância para auxiliar no entendimento do comportamento de algumas dessas respostas radiométricas.

As ocorrências auríferas, de modo geral, estão distribuídas ao longo de lineamentos estruturais de direções preferências NW/SE.

Dos dados de sensoriamento remoto foi utilizado o sensor PRISM, do satélite ALOS, bem como o modelo digital de elevação de terreno da missão SRTM. O sensor PRISM foi usado para a obtenção do detalhamento das feições geológicas lineares a partir de imagens estereoscópicas da área de estudo. Já o modelo digital de elevação do terreno (SRTM), com resolução espacial de 30m, serviu como um suporte para a interpretação, não apenas da imagem PRISM, mas como dos dados aerogeofísicos gerados.

O resultado obtido com essa integração de informações possibilitou um melhor entendimento sobre o comportamento geológico-estrutural da área estudada, bem como das mineralizações auríferas, permitindo dentre outras coisas, um avanço no detalhe cartográfico.

**Palavras-chaves:** Integração de dados, *greenstone belts*, mapeamento geológico, ocorrências auríferas.

The Guarinos and Pilar de Goiás greenstone belts are located in the northern portion of Goiás massif, intervening granite-gneiss complexes: Caiamar, Moquéim and Hidrolina. Several studies have been carried in these greenstones over the years, but an integration of information, using geophysical data and remote sensing data, was necessary for a better mapping of geological domains, and a better understanding of the geological evolution of the area of these greenstone belts.

The airborne geophysical images (magnetic and gamma spectrometry) were very important in the study of these areas, both in geological-structural and in mineralization domains, the latter being verified by the technique of anomalous potassium, where the gold occurrences, from either Guarinos and Pilar de Goiás greenstone belts, are associated with hydrothermal processes. A summary of the characteristics of gold deposits in the region was of very importance to support the understanding of some radiometric behavior.

The gold mineralization is generally distributed in the right of structural lineaments from preferential directions NW / SE.

From the remote sensing data, were used images PRISM, from ALOS satellite, as well as the digital elevation model from SRTM mission. The PRISM sensor was used to obtain the details of geological linear features from stereo images of the studied area. The digital elevation model of terrain (SRTM), with spatial resolution of 30m, served as support for the interpretation, not only of PRISM image, but of geophysical data too.

The success of this integration of information allowed a better understanding of geological-structural behavior of the studied area, as well as gold mineralizations, allowing, among other things, a progress in mapping detail.

**Keywords:** Data integration, greenstone belt, geological mapping, gold occurrences.

## CAPÍTULO 1

---

### INTRODUÇÃO

#### 1. 1. Apresentação

A crescente demanda por bens minerais, com destaque para o ferro, níquel, cobre e ouro, associado ao novo modelo de gestão do patrimônio mineral, tem atraído investimentos para o país, principalmente das empresas juniores e de médio porte. Estas empresas têm reavaliado muitas das áreas já tradicionalmente pesquisadas para estes bens minerais.

Dentro desse contexto, em que a necessidade de identificar novos alvos para a prospecção de minérios em períodos cada vez menores, associado ao aumento do volume de informações geológicas, geoquímicas, geofísicas e de sensoriamento remoto, tem levado a utilização de Geotecnologias no mapeamento geológico e na definição de áreas com maior favorabilidade a ocorrências de depósitos minerais, servindo, deste modo, de guia para as campanhas de prospecção mineral (SOUZA FILHO e CROSTA, 2003).

A importância de novos estudos para a reavaliação das áreas de grande relevância é verificada por meio da CPRM, em parceria com os estados, na realização de Levantamentos Aerogeofísicos (magnetométricos e gamaespectométricos).

Entre as áreas cobertas pelos levantamentos Aerogeofísicos no estado de Goiás, podemos destacar os terrenos arqueanos contendo associações típicas de terrenos *granito-greenstone*, onde se destacam as Faixas vulcano-sedimentares de Guarinos e Pilar de Goiás, pela presença de inúmeras mineralizações. Grande parte destas duas faixas encontra-se hoje sendo investigada pela Yamana *Gold Inc.*, que detém de um grande acervo de dados geológicos, geoquímicos, entre outros sobre as duas faixas de *greenstone belt* - Guarinos e Pilar de Goiás. Esses dados, em conjunto com os novos Levantamentos Aerogeofísicos (CPRM/SGM-GO) e com as imagens do sensor PRISM/ALOS e da missão SRTM, permitem um melhor mapeamento geológico da área, bem como uma melhor delimitação das feições estruturais da área.

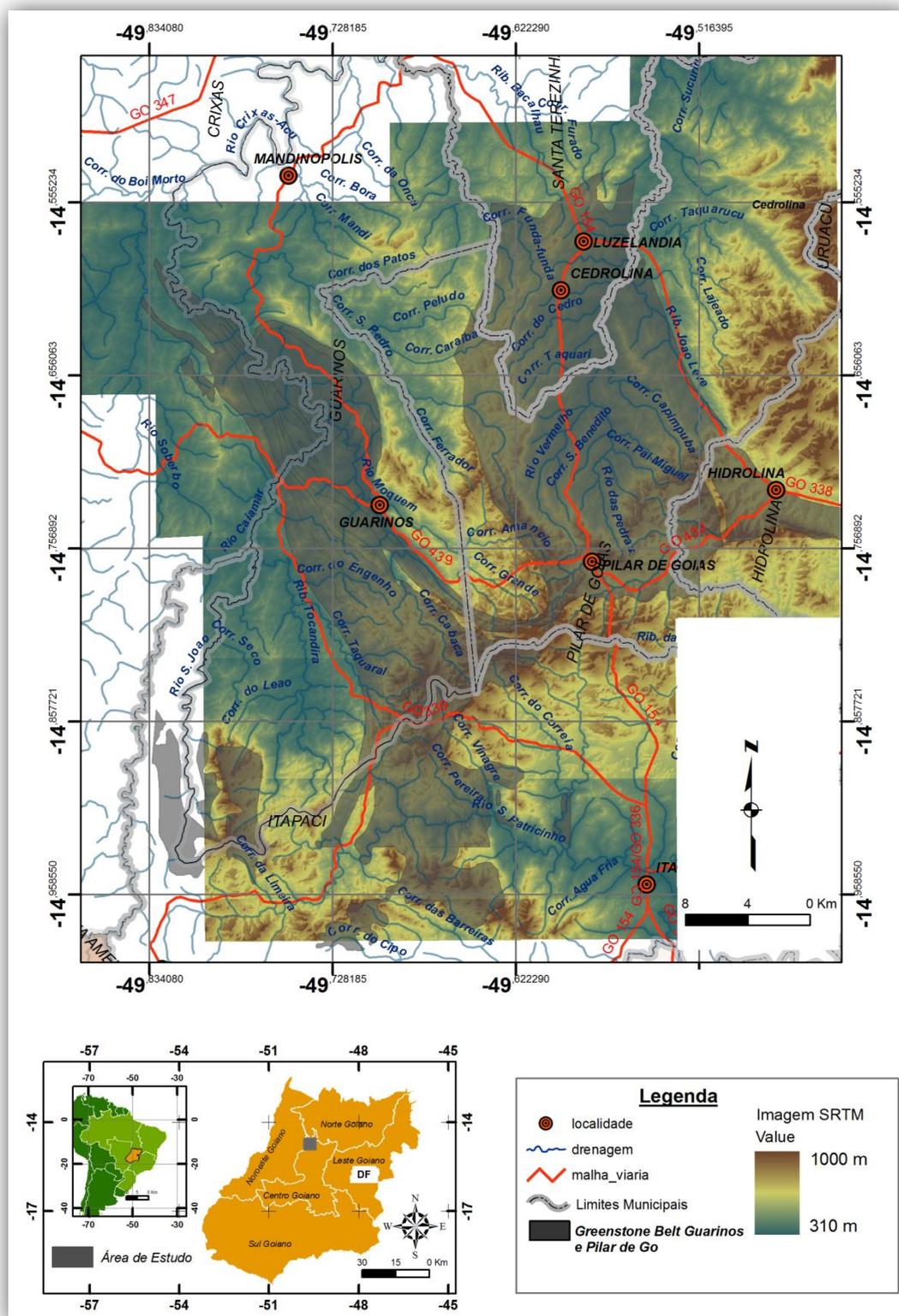
\*Obs.: O presente trabalho foi formatado seguindo os padrões da ABNT 2009.

## 1.2. Localização e Vias de Acesso

A área de trabalho que abrange os dois *greenstone belts*, Guarinos e Pilar de Goiás, está localizada a NW do estado de Goiás, a 343 km partindo de Brasília (DF), sendo delimitada pelas coordenadas  $14^{\circ}24'59.2707''S$  /  $14^{\circ}59'59,8128''S$  de latitude e  $49^{\circ}52'29,0823''W$  /  $49^{\circ}26'15.4638''W$  de longitude, respectivamente. Estão inseridos nos limites das Folhas Itapaci (SD.22-Z-A-VI), no caso de Guarinos e Uruaçu (SD.22-Z-A), no caso de Pilar de Goiás. O *greenstone belt* de Pilar de Goiás, está situado na porção mais oriental da província Crixás. O município está localizado a 263 quilômetros de Goiânia pela BR-153.

O acesso a partir de Brasília pode ser feito pela BR 070 até Cocalzinho de Goiás, BR 414 até Corumbá, GO 225 até Pirenópolis, GO 431 até a BR 153, pela qual se segue até o trevo que dá acesso à GO 336 para a cidade de Itapaci e, finalmente, GO 154 até Pilar de Goiás, totalizando cerca de 340 km (**Figura 1.1**).

O município de Guarinos está inserido na Meso-região do Centro Goiano e na Micro-região de Ceres, tendo como municípios limítrofes: Itapaci, Pilar de Goiás, Crixás e Santa Terezinha. Possui uma área de 595, 865 km<sup>2</sup>, um clima agradável e a presença de dezenas de cachoeiras em suas proximidades. A cidade é cortada de ponto a ponto pelo Rio Cabaçal. A hidrografia é composta pelos rios: Muquém, Cabaçal, Caiamar, Crixás. O município sedia ainda os seguintes distritos: Mandinópolis, Tocambira, Santo Antônio, Lameiro (Fonte: IBGE).



**Figura 1.1.** Mapa de Localização geográfica e vias de acesso da área estudada sobreposta ao modelo digital de elevação (SRTM).

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivos Gerais:

O escopo deste trabalho compreende a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto aliado as informações obtidas de dados aerogeofísicos, visando à integração de informações para um mapeamento geológico mais detalhado da região do *Greenstone Belt* de Guarinos e Pilar de GO.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos:

- Interpretação dos dados geofísicos e de sensoriamento remoto para o aprimoramento do arcabouço estrutural, na melhoria da delimitação das unidades geológicas das áreas, bem como um melhor entendimento do controle das mineralizações auríferas ocorrentes;
- Processamento das imagens do sensor PRISM/ALOS visando à obtenção do par estereoscópico com vista a uma melhor delimitação dos contatos geológicos;
- Integrar dados de geologia de superfície, aerogeofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos), imagens do sensor ALOS e modelos digitais de elevação da missão SRTM;
- Comparar o produto gerado por meio de informações obtidas da aerogeofísica e de sensores remotos com os mapas existentes e discuti-los a luz do contexto geológico e metalogenético da área alvo.

### 1.4. Etapas do Trabalho, Métodos, Base de Dados e Equipamentos.

A execução do projeto obedeceu às seguintes seqüências: Etapa (I) – Compilação Bibliográfica; Etapa (II) – Montagem da Base de dados disponíveis sobre a área; Etapa (III) Processamento de imagens ALOS e Processamento das imagens da geofísica aérea; Etapa (IV) Integração dos dados obtidos e comparação com os mapas geológicos existentes.

#### Etapa I – Levantamento bibliográfico

Nessa etapa foi feito um levantamento bibliográfico, bem como uma compilação e entendimento de diversos trabalhos, principalmente dos trabalhos mais recente, realizados sobre os *greentones belts* da Província aurífera Crixás, que é composta por Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. Essa compilação compreendeu o contexto geológico, estrutural, tectônico, geoquímico, geofísico e principalmente mineralizador. Essa etapa não está limitada apenas a apresentar a região estudada, porém tem a função de reunir um quadro geológico mais

completo e mais atual sobre esses terrenos arqueanos de Goiás já mencionados, para poder respaldar as interpretações de processamento de imagens realizadas.

## **Etapa II – Base de Dados**

Nessa etapa foi realizado um levantamento completo sobre as bases de dados existentes com relação à área estudada, visando entendê-las e complementá-las com os dados adquiridos durante a execução desta dissertação. As seguintes bases utilizadas foram:

- **Aerogeofísicos**

Foram utilizados dados da 1ª e 3ª etapa do Projeto de levantamento aerogeofísico do Estado de Goiás, correspondente aos anos de 2004 e 2006, respectivamente. Com recorte cartográfico na escala de 1:25.000, as imagens foram levantadas pela empresa LASA Engenharia S/A conveniada ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM em parceria com o Governo do Estado de Goiás, com o MME – Ministério de Minas e Energia, com o SIC – Secretaria de Indústria e Comércio / Superintendência de Geologia e Mineração e com o FUNMINERAL – Fundo de Fomento a Mineração. Foram processados dados gamaespectrométricos e magnetométricos.

- **Sensoriamento Remoto**

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas no presente trabalho constaram de imagens de satélites ALOS além do Modelo Digital de Elevação do Terreno (SRTM).

- **Mapas e SIG's**

Aos dados anteriores se somam as seguintes informações:

- Mapa geológico digital na escala aproximada 1:100.000 do “*Greenstone Belt*” de Crixás – Pilar de Goiás, abrangendo a folha Itapaci (SD.22-Z-A-VI), a porção sul da folha Santa Terezinha de GO (SD.22-Z-A-III), sudeste da folha Governador Leonino (SD.22-Z-A-V), sudoeste da folha Campinorte (SD.22-Z-B-I), oeste da folha Uruaçu (SD.22-Z-B-VI) e a porção leste da folha Auriverde (SD.22.Z-A-V). Executado por Homero Lacerda, DNPM, 1997.
- Mapa geológico da Região de Guarinos e Pilar de Goiás, pertencente ao projeto Distrito Mineiro Crixás-Pilar de Goiás, na escala de 1:50.000. Executado por Homero Lacerda e Elias Álvares Lima Júnior, DNPM, 1996.
- Consulta ao SIG sobre a geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal, na escala de 1:500.000; ano 2008. A elaboração do Mapa Geológico do Estado de Goiás e do Distrito Federal, na escala 1:500.000, resultou da parceria entre o Serviço Geológico do Brasil –

CPRM, vinculado à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia – MME e a Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás - SIC além do Fundo de Fomento a Mineração – FUNMINERAL e teve como objetivo, dotar Goiás e o Distrito Federal com uma cartografia geológica em que estejam expressas as mais recentes e avançadas informações e conceitos sobre a geologia do território, de forma a contribuir para a avaliação do potencial mineral, gestão ambiental e desenvolvimento sustentável.

Além dos dados cedidos pela empresa ‘Yamana *Gold Inc.* Mineração’, que possui a concessão para a exploração de minério na região dos *Greenstone belts* de Goiás: Guarinos e Pilar de Goiás, bem como possui um completo e atual banco de dados georreferenciados desses *greenstones*.

As etapas de elaboração e desenvolvimento da dissertação estão resumidas na **figura 1.2**.

### **Etapa III – Processamento das Imagens Digitais**

O processamento consistiu no georreferenciamento das imagens na Projeção UTM Zona 24S e *Datum* SAD-1969.

- **Dados aerogeofísicos**

Com base no processamento de dados aerogeofísicos, foram gerados mapas de domínios e lineamentos magnéticos e domínios gamaespectrométricos. O mapa de lineamentos magnéticos permitiu a caracterização do arcabouço estrutural da área.

- **Dados de sensoriamento remoto**

A partir de imagens ALOS, foram identificadas e extraídas feições lineares correspondente ao tectonismo local do *greenstone*.

### **Etapa IV – Integração e interpretação dos dados**

A combinação de dados aerogeofísicos e de sensoriamento remoto permite uma melhor precisão no mapeamento geológico, tal como: limite de contatos, feições estruturais, etc.

- ***Softwares utilizados na elaboração desse trabalho:***

- Programa para a integração de dados – sistema de informações Geo-referenciadas: ArcGIS© 9.3 (ESRI) 2008;
- Programa de processamento de imagens ENVI® 4.5 (RSI);
- Programa para o processamento de dados aerogeofísicos, Oasis Montaj *Standard Edition* v. 7.1.1 (HJ) da Geosoft Inc. *Copyright*© 2009;
- Programa para projeções estereográficas – *Stereonet*© v.3.06;

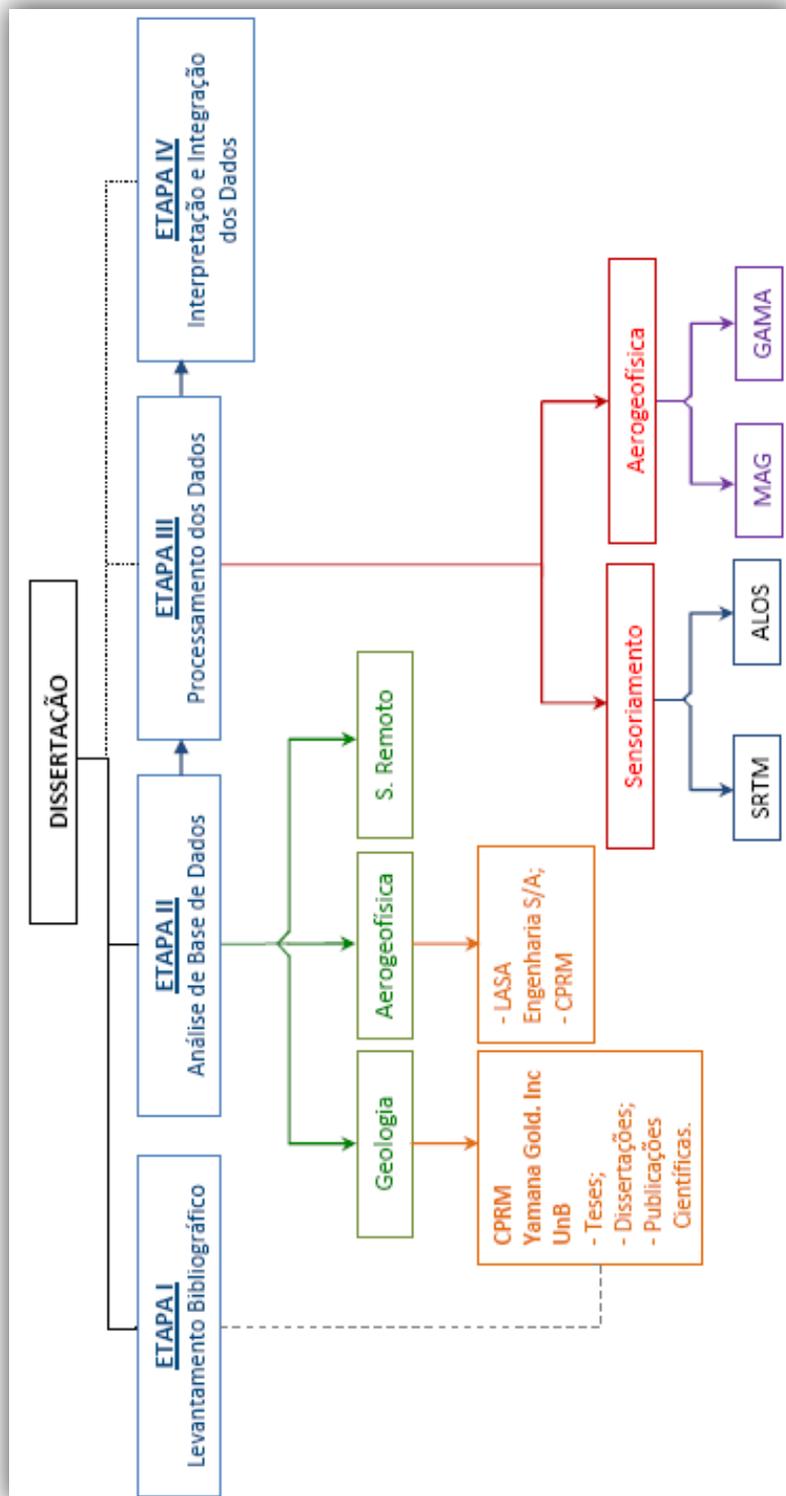


Figura 1.2. Fluxograma das etapas de elaboração da dissertação.

## CAPÍTULO 2

---

### GEOLOGIA

#### 2.1. Apresentação

Os terrenos *Greenstone belts* são responsáveis por grande parte dos depósitos minerais ao redor do mundo, sendo os mais notáveis de ouro, também se destacam os depósitos de prata, cobre, chumbo, níquel, cromo e zinco. No Brasil, estão relacionados a importantes áreas de exploração aurífera, tanto no passado como no presente. No Estado de Goiás, os *greenstone belts* de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás, assim como o de Faina estão relacionados aos grandes ciclos garimpeiros existentes nestas regiões, bem como atualmente por atuações de grandes mineradoras, tendo destaque à ‘Mineração Serra Grande’, em Crixás e ‘Yamana Gold Inc.’ em Guarinos e Pilar de Goiás.

Os *greenstone belts* arqueanos de Goiás estão inseridos na província Tocantins na porção central do Brasil, mais precisamente a noroeste do maciço de Goiás (**Figura 2.1a**). Segundo Jost (2009), a porção centro-oeste de Goiás é composta por fragmento de crosta arqueana alóctone com aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup>, pertencente ao Maciço de Goiás e que foi amalgamado à margem oeste da Faixa Brasília durante o Ciclo Brasileiro. A região é caracterizada pela associação de *greenstone belts* e complexos granito-gnáissicos (JOST, 2009). A Porção meridional contém dois *greenstone belts*, Faina e Serra de Santa Rita, e pelo menos um complexo granito-gnáissico (Uvã) e talvez uma parte de outro (Caiçara), já na porção setentrional, há a predominância de três *greenstone belts* (Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás) e quatro complexos (Anta, Caiamar, Moquém e Hidrolina) (**Figura 2.1b**).

#### 2.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Tocantins, representa uma importante faixa orogenética Brasileira desenvolvida no contexto dos eventos colisionais que culminaram na amalgamação do supercontinente Gondwana ao final do Neoproterozóico (PIMENTEL *et al.*, 2004a). Essa província está situada entre os crátons Amazônico e São Francisco e com interveniência do Cráton do Paraná (Parapanema). Um terceiro bloco encoberto pela Bacia do Paraná, é postulado por diversos autores (BRITO NEVES *et al.*, 1999). Essa província é, ainda,

constituída por três cinturões dobrados: Faixa Brasília, localizada no flanco oeste do Cráton São Francisco; Faixa Araguaia, que margeia a borda leste do Cráton Amazônico, e Faixa Paraguai, que se encontra na borda sudeste/sul do Cráton Amazônico.

Segundo Dardenne (2000), as principais unidades que compõem a Faixa Brasília são: **(i)** o Arco Magmático de Goiás (Neoproterozóico); **(ii)** espessas seqüências sedimentares e metassedimentares: Grupos Araí e Serra da Mesa (Paleo/Mesoproterozóicos); Grupos Paranoá e Canastra (Mesoproterozóicos); Grupos Araxá, Ibiá e Vazante (Meso/Neoproterozóicos) e Grupo Bambuí (Neoproterozóico); **(iii)** o Maciço de Goiás.

**(i) O Arco Magmático de Goiás (Neoproterozóico):** Está localizado entre as faixas Paraguai e Araguaia e o Maciço de Goiás, tem origem em ambiente de arco de ilha intra-oceânico, sendo constituído de rochas de crosta juvenil neoproterozóicas, representadas por seqüências metavulcanossedimentares associadas à ortognaisses cálcicos a calci-alcalinos, tonalitos/granodioritos (PIMENTEL *et al.*, 2000). O Arco Magmático divide-se em dois segmentos separados pelo Maciço de Goiás (LAUX *et al.*, 2005). A porção do arco localizada na Faixa Brasília Setentrional é denominada **Arco Magmático de Mara Rosa** (FUCK 1994), enquanto na porção meridional é denominado **Arco Magmático de Arenópolis**. As similaridades referentes à geoquímica, geocronologia, bem como feições de campo das rochas de ambas as porções permitem a correlação ao Arco Magmático de Goiás (LAUX *et al.*, 2005).

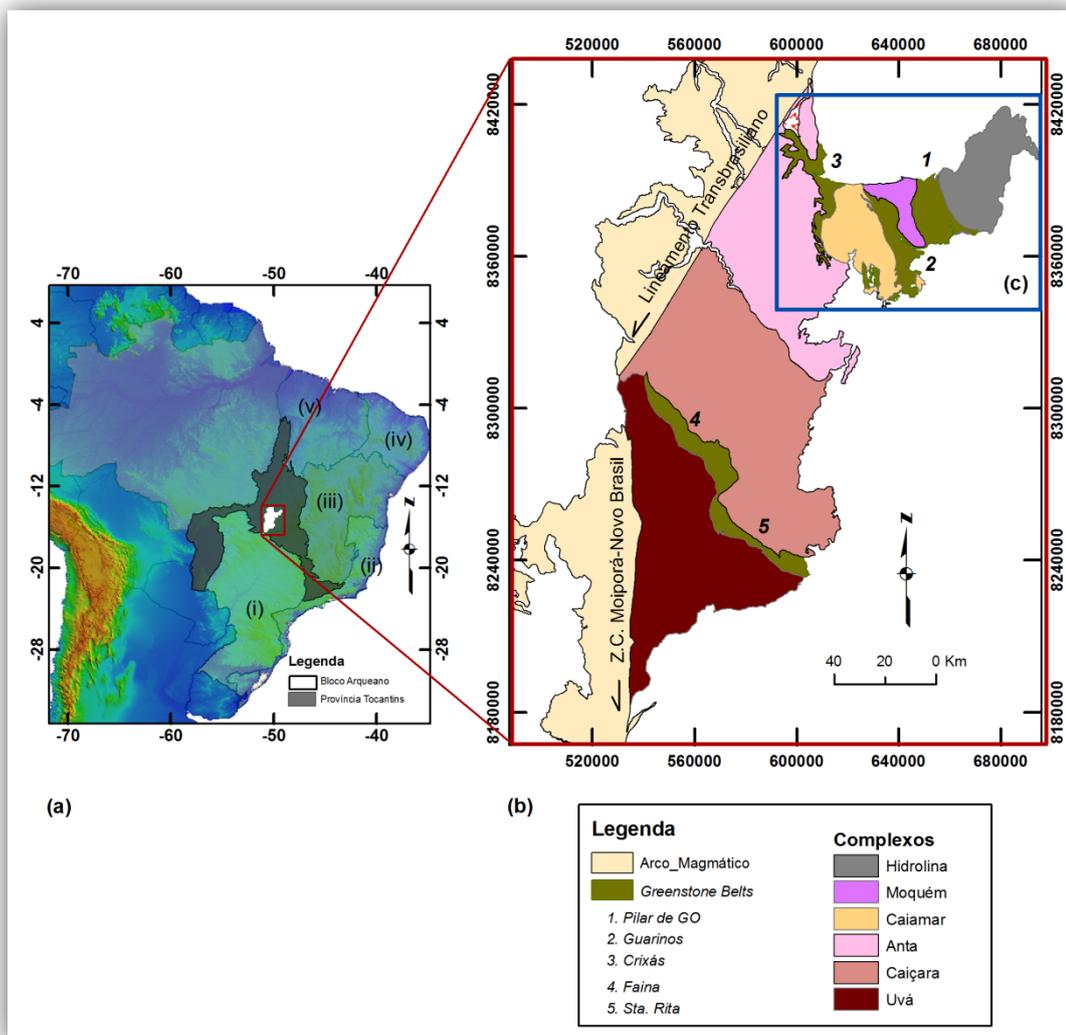
**(ii) Seqüências Metassedimentares:** segundo Dardene (2000), várias seqüências sedimentares se formaram ao longo da borda oeste do Cráton São Francisco em diferentes ambientes no período que segue o fim do mesoproterozóico até o fim do neoproterozóico: Grupos Paranoá e Canastra (Mesoproterozóico), Grupos Araxá, Ibiá e Vazante (Meso-Neoproterozóicos) e Grupo Bambuí (Neoproterozóico). Os contatos entre estas seqüências são predominantemente tectônicos devido a empurrões e imbricamentos gerados pelos pulsos compressivos do Ciclo Brasileiro o que torna difícil a definição de uma sucessão sedimentar.

No segmento setentrional da Faixa Brasília ocorreu à sedimentação das rochas do Grupo Paranoá em ambiente de margem passiva em plataforma dominada por marés e tempestades. No segmento meridional, o Grupo Canastra é considerado como sedimentação em margem passiva, em ambiente marinho plataformal distal. Os Grupos Paranoá, Vazante e Canastra apresentam idades modelo Sm-Nd ( $T_{DM}$ ) de 1,7 a 2,3 Ga, o que indica que a fonte dos sedimentos deve ser o Cráton São Francisco (PIMENTEL *et al.*, 2001). Os sedimentos do

Grupo Ibiá e Araxá apresentam proveniência de duas fontes distintas: uma mais antiga (1,8 a 2,1 Ga), da erosão das rochas do Cráton São Francisco e equivalente aos sedimentos de margem passiva, e outra mais jovem (1,0 a 1,3 Ga), da erosão do Arco Magmático de Goiás, depositados em bacia de retro-arco. Os sedimentos do Grupo Bambuí apresentam idades modelo Sm-Nd ( $T_{DM}$ ) de 1,4 a 1,9 Ga, provenientes da erosão de cadeia de montanhas a oeste, após a acreção do Arco Magmático de Goiás (PIMENTEL *et al.*, 2001).

O Grupo Araxá é diferenciado do Grupo da Serra da Mesa por Marini *et al* (1984) em função das características distintas dos dois grupos no N e S da megainflexão dos Pirineus. Esse grupo é constituído por rochas metassedimentares com metavulcânicas associadas neoproterozóicas depositados na plataforma continental distal, incluindo talude e sopé continental. Ocorrências de mênanges ofiolíticas comprovam a incorporação de representantes oceânicos durante a fase orogenética (DARDENNE, 2000). Apresentam, freqüentemente, idades modelo mais jovens que 1,5 Ga, indicando a presença de uma fonte bastante jovem como uma das fornecedoras de material detrítico para os sedimentos originais (PIMENTEL *et al.*, 1999b). As rochas metassedimentares deste Grupo recobrem todos os tipos de granitóides e truncam a estruturação dos *greenstone belts*, sendo que o contato entre eles é representado por uma zona de milonitos associados a dobras recumbentes, dobras inversas e escamas tectônicas desenvolvidas durante o Neoproterozóico (JOST *et al.*, 1994).

(iii) **Maciço de Goiás:** Esse maciço constitui uma extensa faixa com direção NNE, localizada na porção central da Província Tocantins. É definido por Fuck (1994) como sendo segmentos colisionais Brasileiros que envolvem um microcontinente arqueano. É constituído por complexos granito-gnáissicos denominados Anta, Hidrolina, Itaporanga, Caiamar e Uvá (JOST e FORTES, 2001) e *greenstone belts* de idades arqueanas, intrusões meso-neoproterozóicas dos complexos máfico-ultramáficos de Barro Alto, Niquelândia, Cana Brava e seqüências vulcanossedimentares associadas, recobertos em parte por rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa. Este conjunto configura um fragmento crustal complexo e de comportamento independente durante os eventos termotectônicos do Ciclo Brasileiro.



**Figura 2.1.** **a)** Mapa de províncias tectônicas da América do Sul: (i) Província do Paraná; (ii) Província da Mantiqueira; (iii) Província do São Francisco; (iv) Borborema e (v) do Parnaíba. **b)** mapa destacando o Bloco Arqueano de Goiás com seus limites e subdivisões (em *greenstones* e complexos) e **c)** Mapa simplificado da região da Província Crixás.

### 2.2.1. Terrenos Granito – Gnaissico

Os complexos graníticos são representados na porção norte, de leste para oeste, pelo (i) Bloco Moquém e pelos Complexos (ii) Hidrolina, (iii) Caiamar e (iv) Anta, e na porção sul, pelos complexos (v) Caiçara e (vi) Uvã. Diques e *stocks* de diabásio, com ultramáficas subordinadas, ocorrem em toda a área (TOMAZOLLI, 1997) (ver figura 2.1b).

(i) O **Bloco Moquém** limita-se a leste pelo *greenstone belts* de Pilar de Goiás e a oeste pelos *greenstone belt* de Guarinos, e a norte e sul por rochas do Proterozóico, pertencentes ao Grupo Araxá. Os limites são dados por falhas de empurrão, tais como nos contatos norte e sul

com as unidades Proterozóicas, ou por falhas transcorrentes, como ocorrem nos contatos sudoeste com a faixa Guarinos, e no contato a leste com a faixa Pilar de Goiás. As principais rochas formadoras consistem de gnaisses granodioríticos e tonalíticos, *stocks* tonalíticos e intrusões máficas e ultramáficas (JOST *et al.*, 2001). Segundo Vargas (1992), o Bloco apresenta idades Rb/Sr variando de 2,6 a 2,4 Ga. Todas as unidades do Bloco foram afetadas por metamorfismo fácies xisto-verde durante o Arqueano e o Neoproterozóico (PIRES, 1995).

(ii) O **Complexo Caiamar** é dividido em: Gnaisse Crixás-Açu, Gnaisse Águas Claras e tonalito Tocambira (Jost *et al.* 1994a), e está situado entre as Faixas Crixás e Guarinos. O granito Tocambira é o corpo central desse complexo. A intrusão possui formato elíptico e irregular e é feito de tonalito cinza de granulação fina. As idades correspondentes são: Gnaisse Águas Claras –  $2844 \pm 7$  Ma; Tonalito Tocambira –  $2842 \pm 6$  Ma e Gnaisse Crixás-Açu –  $2817 \pm 7$  Ma (QUEIROZ *et al.*, 2008). O gnaisse Águas Claras, ocorre na porção sul do complexo e pode ser distinguido das rochas do Complexo Anta por meio da sua assinatura radiométrica de contraste. As unidades de metakomatiitos, metabasaltos e formação ferrífera bandada cobrem parte do contato do gnaisse com o tonalito Tocambira (PIMENTEL *et al.*, 2000a). Todas as três unidades do Complexo Caiamar são cortadas por diques de diabásio e microgabro. E menos, freqüentemente, por veios pegmatíticos. Os diques máficos foram submetidos às mesmas fases deformacionais que os gnaisses e possuem paragênese de fácies anfíbolíticas superior. Localmente, mostram retro-metamorfismo para as fácies xisto-verde. Isto contrasta com a única fácies xisto-verde mostrada pelos diques dentro do tonalito Tocambira e indica que os gnaisses e os tonalitos se submeteram a histórias diferentes de deformação. As relações de contato dos tonalitos com as rochas encaixante indicam que a intrusão ocorreu após a deformação supracrustal e metamorfismo regional (PIMENTEL *et al.*, 2000a).

(iii) O **Complexo Hidrolina** é limitado pela faixa de Pilar de Goiás na porção SW, e por unidade metassedimentar Proterozóica e metavulcânica no SE, E, e W. O complexo consiste de granodiorito a granito-gnaisse, com tonalito-gnaisse subordinado. Uma proeminente foliação aparece próximo ao contato com a Faixa Pilar de Goiás. Para NE, a intensidade desta foliação diminui e seu mergulho muda de, uma média de  $30^\circ$ W, para quase horizontal (PIMENTEL *et al.*, 2000a).

(iv) O **Complexo Anta**, ainda não possui a sua extensão, estrutura e variedade litológica conhecidas inteiramente. Esse complexo é constituído por granodiorito porfirítico,

tonalito e intrusões graníticas de ordem decrescente de abundância (VARGAS, 1992). As intrusões do Complexo podem ser isotrópicas ou foliadas. Longe do contato, dentro do domínio das rochas isotrópicas, os efeitos da deformação se limitam em zonas de cisalhamento estreitas sub-vertical de direção N-S (PIMENTEL *et al.*, 2000).

#### **2.2.1.1. Dados Geocronológicos**

Os dados geocronológicos dos terrenos granito-gnaiss arqueanos ainda são escassos para se poder obter um modelo evolutivo. As primeiras idades radiométricas (HASUI e ALMEIDA, 1970), em anfibolitos desses terrenos, usando K/AR, forneceram idades de  $3.067 \pm 0.216$  Ga e  $954 \pm 48$  Ma. As idades de Rb/Sr para diversas unidades do granito-gnaiss variam de 2,9 para 2,5 Ga. Os gnaiss granodioríticos do Bloco Moquéim mostram idades magmáticas de  $2.707 \pm 0.004$  Ga.

A granitogênese dos terrenos arqueanos ocorreu entre 2,85 Ga e 2,7 Ga, sugerindo que esses corpos resultaram de vários episódios de intrusão após a deposição, deformação e transporte tectônico dos *greenstone belts* de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás (QUEIROZ, 2000). Dados isotópicos U-Pb SHRIMP de titanita de rochas dos complexos granito-gnáissicos da região registram idades de metamorfismo em 2,7 Ga e 2,0 Ga. Efeitos da orogênese Brasiliana são representados por zircão metamórfico de 590 Ma no Bloco Moquéim, provenientes de anatexia e por zircões de ortognaisses arqueanos com interceptos inferiores U-Pb SHRIMP entre 750 e 590 Ma, corroborando as idades de metamorfismo da Faixa Brasília (QUEIROZ *et al.*, 1999).

Dentre as rochas supracrustais arqueanas, apenas os metakomatiitos do *greenstone belt* de Crixás estão datados e forneceram idades isocrônicas Sm-Nd e Pb-Pb de  $2.825 \pm 98$  Ma e  $2.728 \pm 140$  Ma, respectivamente (ARNDT *et al.*, 1989) e isocrônica Sm-Nd de  $3,00 \pm 0,09$  Ga (FORTES *et al.*, 2003). As seqüências metassedimentares dos *greenstone belts* apresentam idades modelo Sm-Nd (TDM) de cerca de 2,0 Ga no *greenstone* de Pilar de Goiás (JOST *et al.*, 2008), de 2,5 a 2,3 Ga (FORTES *et al.*, 2003) no *greenstone* de Crixás e de 2,9 a 2,7 Ga nos *greenstones* de Faina e Santa Rita (RESENDE *et al.*, 1999). Análises U-Pb de zircão detrítico de metagrauvacas de Crixás forneceram idades de  $3354 \pm 40$  Ma a  $2209 \pm 28$  Ma (JOST *et al.*, 2008).

As características estruturais dos terrenos granito-gnáissicos variam entre os complexos e mesmo dentro de um mesmo complexo. Segundo Jost *et al.* (2005), os complexos da Anta, Caiamar e Hidrolina consistem de conjuntos de gnaisses derivados de

batólitos. Já os complexos Moquém e Uvá se caracterizam por um núcleo batolítico gnaissificado circundado por corpos tabulares de granitóides com foliação de intensidade variável. As paragêneses de metamorfismo regional são incertas em virtude da composição dos protólitos dos gnaisses serem inadequadas para gerar minerais diagnósticos. Se considerados os diques máficos pré-cinemáticos que intrudiram os complexos, o metamorfismo regional de alguns gnaisses é compatível com a fácies anfíbolito médio, com retro-metamorfismo na fácies xisto verde.

### **2.2.2. Terrenos Granito-Greenstone Arqueanos**

Os terrenos granito-*greenstone* arqueanos afloram a oeste da Faixa Brasília, apresentando orientação NE-SW. Os *greenstone belts* compreendem cerca de 20% do segmento do Bloco Arqueano de Goiás e ocorrem em cinco faixas de comprimento que variam entre 40 km e 100 km e com largura média de 6 km, três dos quais se situam no extremo norte (Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás) e dois no extremo sul (Santa Rita e Faina). A geometria dos *greenstone belts* é linear, curva ou irregular, e é determinada pela natureza dos contatos com os terrenos granito-gnáissicos adjacentes. A geometria linear é dada ora por zonas de cisalhamento verticais e ora por contato ígneo. A geometria curva, como em Pilar de Goiás e a porção nordeste de Guarinos, resulta de contatos por falhas de empurrão ou rampas laterais de mergulho moderado a baixo que foram moldadas durante a ascensão dos complexos. A geometria irregular é dada por contornos sinuosos que resultam ou da ascensão de corpos de gnaisses ou intrusões, como em Crixás, ou do recorte topográfico de milonitos de falhas de empurrão de baixo ângulo entre os *greenstone belts* e os gnaisses subjacentes, como em Santa Rita e Faina. Os terrenos granito-gnáissicos compreendem cerca de 80% do bloco (JOST, 2008) (Ver Figura 2.1c).

#### **2.2.2.1. Contexto Geológico do Greenstone Belt Guarinos**

O *Greenstone belt* de Guarinos possui orientação N10°-30°W, com largura média de 6 km e comprimento de 23 km (PULZ, 1995). É constituído por uma sucessão de rochas ultrabásicas, rochas básicas (metabasaltos e anfíbolitos) e camadas de rochas metassedimentares. Limita-se a norte com rochas do Neoproterozóico por meio da Zona de Cisalhamento Mandinópolis; a leste pelo Bloco Moquém; a oeste pelo Complexo Caiamar e a sul pelas rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa (JOST *et al.* 2001). O contato

com o Bloco Moquém é uma falha de empurrão (JOST *et al.*, 1994, 1995) que, de sul para norte, progride de rampa frontal para lateral, retornando para frontal no extremo norte, até a Zona de Cisalhamento Mandinópolis. A nordeste deste *greenstone belt*, há uma intrusão de um corpo irregular que corresponde ao Trondhjemito Santo Antônio, anteriormente denominado de Domo Guarinos por Montalvão (1981) (**Figura 2.2**).

Esse trondhjemito, atualmente é considerado parte do *greenstone belt* de Guarinos e foi interpretado por Jost *et al.*(1995) como intrusão alojada no núcleo de dobra semi-recumbente em metabasaltos, resultante do transporte tectônico da porção setentrional do *greenstone belt* de Guarinos para leste, sobre o Bloco Moquém. A intrusão está exposta no interior de uma depressão alongada segundo SE-NW, circundada por cristas altas de metabasaltos. Junto ao contato, os metabasaltos estão injetados por apófises e veios pegmatóides derivados da intrusão e apresentam paragênese de metamorfismo de contato da fácies albita-epidoto hornfelse, superposta à da fácies xisto verde de metamorfismo regional. A rocha diagnóstica é composta por quartzo e albita, subordinadamente fengita e biotita, e proporções menores de clorita, epidoto, zircão, titanita e allanita. A direção da foliação varia entre NS e EW, com mergulho médio de 30° para SW e NW. Tanto o Complexo Caiamar quanto o Trondhjemito Santo Antônio são intrusivos no *greenstone belt* de Guarinos (JOST *et al.*, 2001).

De acordo com esse cenário geológico, Danni & Ribeiro (1978) fizeram a primeira subdivisão estratigráfica das supracrustais que, posteriormente, foi redefinida por Jost & Oliveira (1991). De acordo com a última proposta, as supracrustais estão reunidas no Grupo Guarinos, o qual se subdivide da base para o topo, nas formações **(a)** Serra do Cotovelo, **(b)** Serra Azul, **(c)** São Patricinho, **(d)** Aimbé e **(e)** Cabaçal.

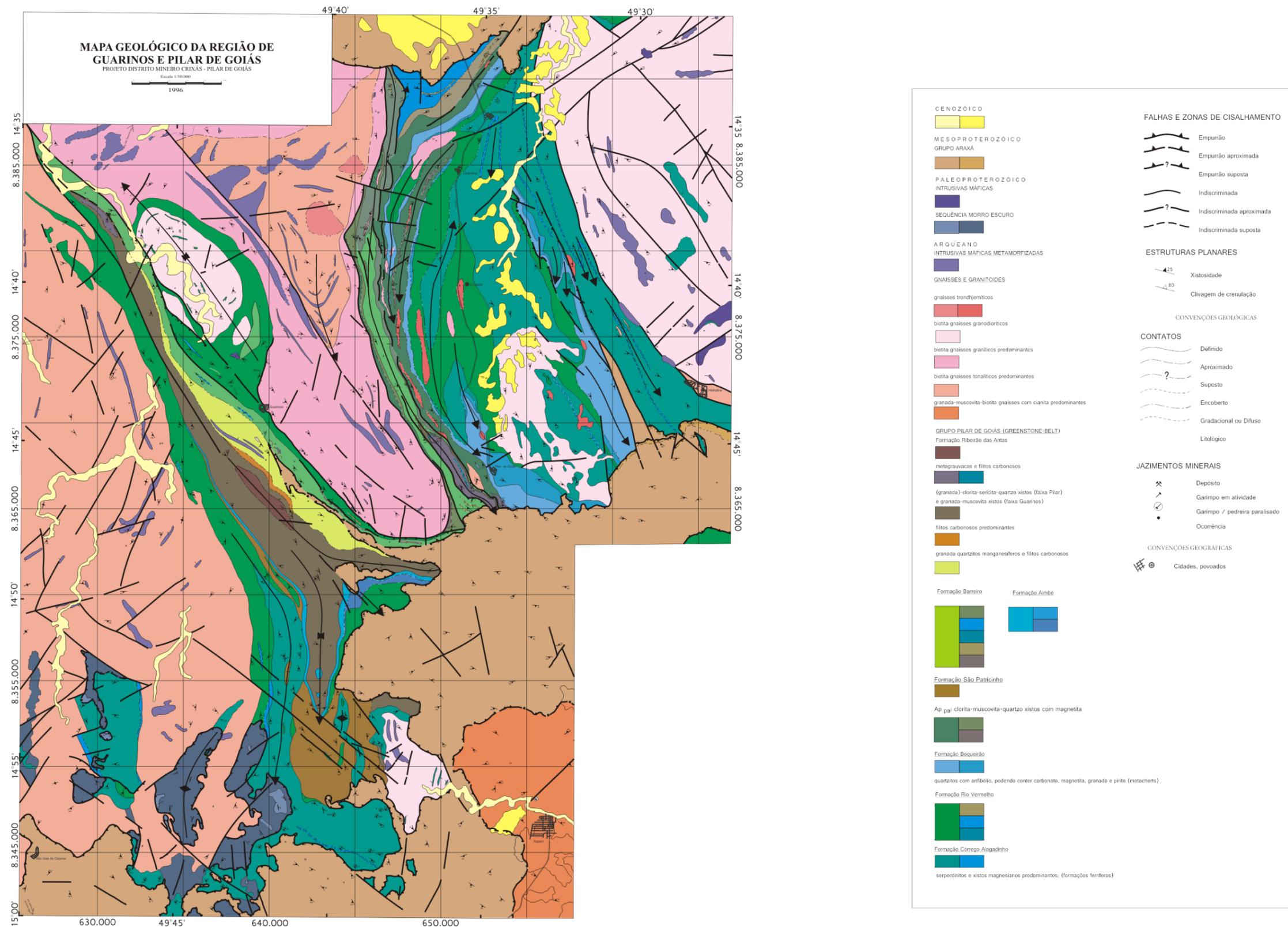


Figura 2.2. Mapa geológico do Greenstone belt de Guarinos e Pilar de Goiás (segundo LACERDA, 1996).

(a) **Formação Serra do Cotovelo:** Essa formação possui espessura real estimada inferior a 150 m e consiste de metakomatiitos, metabasaltos komatiíticos e, localmente, formações ferríferas. A unidade ocorre na borda oeste do *greenstone belt*, a partir de onde se prolonga para norte em estreita faixa curva, comprimida entre o Complexo Caiamar e o Bloco Moqué, truncada no extremo norte pela Zona de Cisalhamento Mandinópolis. Ademais, a oeste, a unidade ocorre como vários *inliers* no Complexo Caiamar, e está ausente no leste do *greenstone belt*. Na porção oeste da faixa, o contato entre as rochas desta unidade e os metabasaltos da Formação Serra Azul é por meio de falha sinistral suavemente curva (JOST *et al.*, 2001).

(b) **Formação Serra Azul:** Essa formação perfaz a maior área do Grupo Guarinos e tem espessura real máxima estimada de 450 m e consiste de metabasaltos, localmente almofadados, e eventuais metabasaltos komatiíticos e formações ferríferas e manganésíferas. Limita-se a oeste com a Formação Serra do Cotovelo por falha, a leste com o Bloco Moqué por falha de empurrão e, na sua região central, com o corpo intrusivo do Trondhjemitó Santo Antônio (JOST *et al.*, 2001).

(c) **Formação São Patricinho:** Essa formação possui uma espessura variável entre 30 e 300 m, é descontínua e aflora apenas nas porções meridionais da área. A unidade consiste principalmente de xisto rico em clorita, quartzito e ardósias, ela ocorre somente na parte sul do cinturão, onde é lateralmente interdigitado com metabasaltos da Formação Serra Azul (JOST e OLIVEIRA, 1991; JOST *et al.*, 1995). Os metabasaltos e a Formação São Patricinho são discordantemente sobrepostos pela Formação Aimbé (PIMENTEL *et al.*, 2000a).

(d) **Formação Aimbé:** Possuindo uma espessura média de 70 m, essa formação possui como característica uma unidade de formação ferrífera bandada na qual, camadas de magnetita ou hematita estão alternadas com muscovita (RESENDE, 1994; RESENDE e JOST, 1994, 1995). Na base, a unidade de formação ferrífera é associada com pelo menos quatro centros hidrotermais exalativos, consistindo de halos de alteração concêntricos espaçados em uma média de 7 km. Esses halos são feitos de proporções variadas de cloritas, magnetitas, muscovitas, epidoto, turmalinas e quartzo. Para o topo, a formação ferrífera gradualmente vai cedendo lugar para a Formação Cabaçal (JOST *et al.*, 1995). Ao norte de Guarinos, essa formação ocorre em lentes tectonicamente imbricadas em rochas das formações Serra Azul e Cabaçal.

(e) **Formação Cabaçal:** Essa formação ocorre no interior de uma faixa que, no extremo sul, tem 1.300 m de largura, adelgaçando-se para norte e está tectonicamente inserida entre metabasaltos da Formação Serra Azul por efeito da Zona de Falha Engenho Velho (JOST e FORTES, 2001). A unidade é subdividida em **Membro inferior**, consistindo de xisto carbonoso com ocasionais camadas de *metachert*, formações manganésíferas e ferríferas e metabasaltos; e um **Membro superior** siliciclástico similar a seqüência superior de Crixás (JOST *et al.*, 1995), consistindo de metassiltitos e metafolhelhos, comumente rítmicos, com raros filitos carbonosos e derrames básicos.

#### 2.2.2.2. Contexto Geológico do *Greenstone Belt* de Pilar De Go

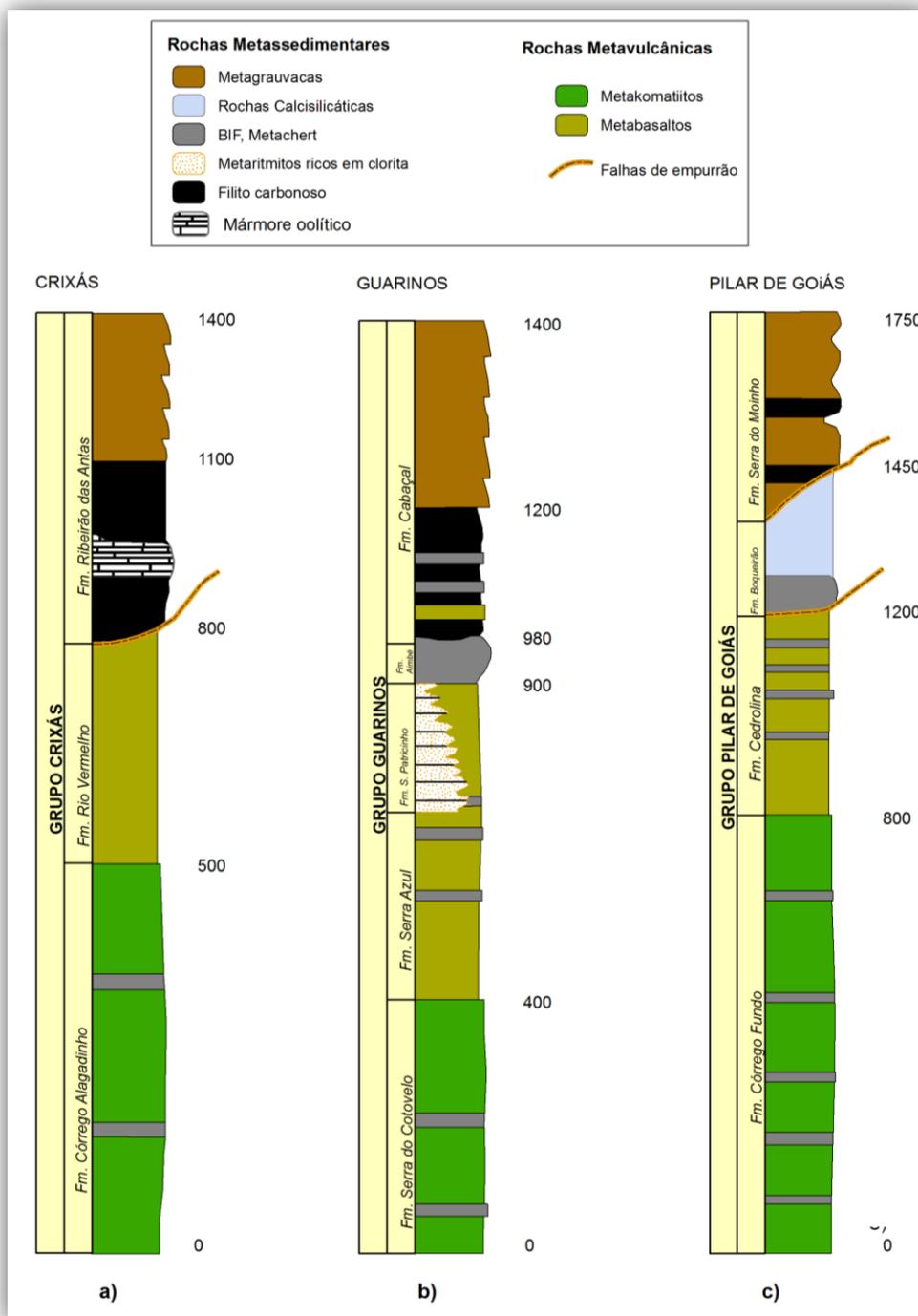
As supracrustais arqueanas ocorrem numa extensão de 40 km de direção N10°-20°W, limitando-se com gnaisses do bloco moquém por falha, a oeste, com rochas Neoproterozóicas pela Zona de Cisalhamento Mandinópolis, a norte, e com o complexo Hidrolina, a leste. Na parte meridional, encontram-se encobertas por rochas metassedimentares Paleoproterozóicas do Grupo Serra da Mesa. “Jost & Oliveira (1991) reúnem as rochas supracrustais desta faixa no Grupo Pilar de Goiás e o subdividem, da base para o topo, nas formações (a) Córrego Fundo, (b) Cedrolina, (c) Boqueirão e (d) Serra do Moinho. Estas unidades consistem, respectivamente, de metakomatiitos, metabasaltos, rochas de origem sedimentar química e metapelitos”.

(a) **A Formação Córrego Fundo** consiste de metakomatiitos com intercalação de camada com cerca de 300 m de espessura média de mármore, rochas cálcio-silicáticas e formações ferríferas em amplas gradações laterais e verticais (JOST & OLIVEIRA, 1991).

(b) **A Formação Cedrolina** consiste de cerca de 500 m de metabasaltos com eventuais intercalações de formação ferrífera fácies óxido. Rochas vulcânicas basálticas com intercalações de formações ferríferas, gonditos e *metacherts*, subordinadamente ocorrem filitos carbonoso (JOST *et al.*, 2001).

(c) **A Formação Boqueirão** tem cerca de 200 m de espessura e consiste de *metachert* basal que dá lugar a formação manganésífera e 180 m de rochas calcissilicáticas (JOST, 2008).

(d) **A Formação Serra do Moinho** repousa em contato por falha de empurrão sobre a Formação Serra do Moinho, tem cerca de 400 m de espessura e é composta de xistos carbonosos e metarritmitos (JOST, 2008).



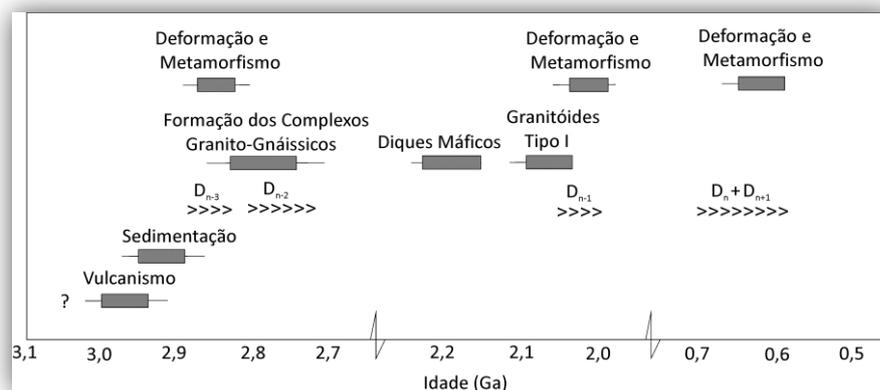
**Figura 2.3.** Colunas estratigráficas dos *greenstone belts* do Bloco Arqueano de Goiás: **a)** Crixás; **b)** Guarinos e **c)** Pilar de Goiás. Segundo Jost *et al.* (2008).

### 2.3. ARCABOUÇO ESTRUTURAL E EVOLUÇÃO

Segundo Queiroz (2000), “[...] as estruturas nos *greenstone belts* de Crixás, Guarinos e Pilar e nos Complexos da Anta, Caiamar, Hidrolina e no Bloco Moquém caracterizam cinco fases de deformação, do Arqueano ao Neoproterozóico. A primeira fase  $D_{n-3}$  é arqueana e foi responsável pela geração da foliação tectono-metamórfica principal  $S_{n-3}$  e pelas primeiras inversões estratigráficas da área, colocando parte das supracrustais em posição normal e parte em posição inversa. A segunda fase  $D_{n-2}$ , também arqueana, foi diacrônica e compreende a ascensão polidiapírica dos granitóides (segunda e terceira fases de granitogênese siálica), gerando a estrutura de domos-e-quilhas e a gnaissificação de alguns desses corpos ( $> 2,7$  Ga). A terceira fase de deformação  $D_{n-1}$ , paleoproterozóica, gerou transporte de supracrustais mais jovens sobre o substrato arqueano, com vergência principal para norte e progrediu de um caráter tangencial para um direcional. A quarta fase de deformação  $D_n$ , neoproterozóica, resultou em transporte tangencial de NW para SE, em direção ao Cráton do São Francisco, e evoluiu para um regime direcional atribuído à última fase de deformação  $D_{n+1}$ . As zonas de cisalhamento são atribuídas à fase  $D_{n+1}$ . Postula-se que os Terrenos Granito-*Greenstone Belt* de Crixás tenham-se formado em ambiente de *back-arc* [...]”.

A deformação inicial (fases  $D_{n-3}$  e  $D_{n-2}$ ) é atribuída ao fechamento da bacia e ao desenvolvimento de um orógeno. Durante o Paleoproterozóico, estes terrenos foram submetidos à deformação e magmatismo epicratônicos, com supracrustais mais jovens sendo transportadas para norte. No Neoproterozóico, os terrenos arqueanos de Goiás foram amalgamados à Faixa Brasília, contribuindo para o fechamento do Oceano Goianides e participando da Colagem Brasileira (QUEIROZ, 2000).

Jost & Fortes (2001) apontam quatro eventos deformacionais correlacionáveis com aqueles descritos por Queiroz (2000). Um sumário da evolução geológica dos terrenos arqueanos de Goiás é apresentado no quadro da **figura 2.4**.



**Figura 2.4.** Sumário da evolução geológica dos terrenos granito-greenstone arqueanos de Goiás com base nos dados de campo e geocronológicos (JOST e FORTES, 2001).

Quanto à evolução, Queiroz (2000) defende que os terrenos granito-*greenstone* na porção leste passaram por longa história deformacional que envolveu cinco grandes eventos. “No *Greenstone Belt* de Crixás, o primeiro evento teria gerado uma foliação subparalela a  $S_0$ , que se amolda ao contorno dos complexos granito-gnáissicos. As dobras geradas seriam recumbentes e de natureza reversa, representando um transporte tectônico epidérmico. Próximo ao contato com os granitóides, essa foliação é interrompida por apófises e deformada podendo apresentar metamorfismo de contato superimposto. O metamorfismo afeta as rochas do Grupo Guarinos: termal no contato com o Tonalito Tocambira (Complexo Caiamar) e com o Trondhjemito Santo Antônio [...]”.

O segundo evento é caracterizado pelo soerguimento polifásico das rochas dos Complexos Anta, Caiamar e Hidrolina, que durou aproximadamente 135 Ma (2,84 – 2,71 Ga). A natureza estrutural dos complexos granito-gnáissicos varia entre os complexos e dentro de um mesmo complexo, como as intrusões gnaissificadas Crixás-Açu e Águas Claras versus Tonalito Tocambira no Complexo Caiamar. Segundo Queiroz *et al.* (2008), a evidência de deformação e de metamorfismo dos gnaisses do arqueano pode ser registrada em  $2772 \pm 6$  Ma nos cristais de zircão dos veios anatóxicos, e em  $2711 \pm 34$  Ma em titanitas (QUEIROZ *et al.*, 2000) de  $2817 \pm 9$  Ma nos gnaisses deformados de Crixás Açu (Complexo Caiamar). Isto sugere que a cratonização da área poderia ter ocorrido momentaneamente depois de 2.7 Ga. Seguido da cratonização, predominaram eventos extensionais – enxame de diques nos Complexos Anta e Caiamar e metamorfismo em zonas de cisalhamento a oeste do *greenstone* de Pilar (QUEIROZ *et al.*, 2008).

O terceiro evento, ainda de acordo com Queiroz (2000), seria “[...] compressional, de direção NS, ao qual são atribuídas falhas de empurrão, dobras em bainha, lineações de estiramento, atividade magmática (intrusões de albita-granitos e dioritos) e soerguimento do Bloco Moqué. Essa deformação aumenta de intensidade para leste e é marcada por transporte tectônico para norte e *klippen* de supracrustais arqueanas e da Seqüência Morro Escuro. As feições estruturais mais características são deslocamentos reversos para norte, falhas transcorrentes sinistrais N30E e dextrais N30W. O quarto evento, neoproterozóico, reúne estruturas vergentes para o Cráton São Francisco, de natureza essencialmente reversa. A intensidade da deformação foi alta a muito alta. São geradas dobras apertadas a isoclinais, e quando assimétricas, apresentam vergência para os quadrantes de E. Em Crixás, a foliação plano-axial é uma foliação metamórfica de baixo grau. A penetratividade da deformação é maior para oeste. No quinto evento, ainda neoproterozóico, são geradas zonas de cisalhamento transcorrentes de caráter rúptil-dúctil, N50W sinistrais de 1ª ordem e NS dextrais de 3ª ordem. Essas falhas ocorrem tanto nas rochas arqueanas quanto nas proterozóicas da Seqüência Santa Terezinha e Mara Rosa e no Arco Magmático a sul”.

Os processos tectônicos que operavam no Arqueano e Paleoproterozóico diferem dos processos modernos, pois estima-se que a crosta continental era mais quente e fina, as supracrustais eram mais densas, a erosão era mais rápida, e assim, esses fatores contribuiriam para exumação mais rápida (MARSHAK, 1999). A sucessão de eventos ocorridos nesse intervalo é especulativa em razão da carência de dados geocronológicos obtidos a partir de métodos mais robustos, como U-Pb em zircão e outros minerais.



Os metakomatiitos do *greenstone belt* de Crixás apresentam idades isocrônicas Sm-Nd de  $3,00 \pm 0,09$  Ga, enquanto a seqüência metassedimentar apresenta idades modelo Sm-Nd ( $T_{DM}$ ) de 2,5 a 2,3 Ga (FORTES *et al.*, 2003). Análises U-Pb de zircão detrítico de metagrauvas de Crixás forneceram idades de  $3354 \pm 40$  Ma a  $2209 \pm 28$  Ma (JOST *et al.*, 2008).

Os dados U-Pb SHRIMP de zircões dos complexos granito-gnáissicos indicam que a região estava sob a influência de crosta continental mais antiga de até 3,3 Ga cujas exposições não têm sido reconhecidas na área. Os dados também indicam que a granitogênese durou cerca de 135 Ma e os corpos intrusivos podem ser divididos em dois grupos: um mais antigo, juvenil (Gnaiss Águas Claras –  $2844 \pm 7$  Ma e Tonalito Tocambira –  $2842 \pm 6$  Ma do Complexo Caiamar, coevos; gnaiss granodiorítico do Complexo Anta –  $2820 \pm 6$  Ma e Gnaiss Crixás-Açu do Complexo Caiamar –  $2817 \pm 7$  Ma) e outro mais novo de crosta retrabalhada (granitos da Suíte Chapada do Complexo Anta –  $2792 \pm 7$  Ma e os granodioritos do Complexo Hidrolina ( $2785 \pm 5$  Ma) (QUEIROZ *et al.*, 2008).

Dados isotópicos U-Pb SHRIMP de titanita de rochas dos complexos granito-gnáissicos da região registram idades de metamorfismo em 2,7 Ga e 2,0 Ga. Efeitos da orogênese Brasiliana são representados por zircão metamórfico de 590 Ma no Bloco Moqué, provenientes de anatexia e por zircões de ortognaisses arqueanos com interceptos inferiores U-Pb SHRIMP entre 750 e 590 Ma, corroborando as idades de metamorfismo da Faixa Brasília (QUEIROZ *et al.*, 1999).

As idades de até 3,3 Ga de zircões herdados nos gnaisses dos complexos Anta e Caiamar registram a existência de crosta continental mais antiga, sob a qual as rochas dos complexos Caiçara e Anta intrudiram. A extensão dessa crosta poderia ser o embasamento das supracrustais, que são reconhecidamente alóctones, e o ambiente poderia de formação dessas rochas poderia ser bacia de retro-arco ou bacia oceânica. Vários episódios de empurrão são responsáveis pela natureza alóctone dos *greenstone belts* de Goiás, que resultaram em arranjo estrutural complexo, caracterizado por inversão substancial da estratigrafia nos *greenstones* de Crixás e Guarinos, espessamento, afinamento e supressão de unidades (KUYUMJIAN e JOST, 2006).

## **2.4. MINERALIZAÇÕES E OCORRÊNCIAS AURÍFERAS DA PROVÍNCIA CRIXÁS.**

Essa província aurífera contém uma variedade de depósitos estratiformes de ouro e ocorrências minerais que diferem em estilo, mineralogia, tipo de rochas hospedeiras e alterações hidrotermais. Segundo Jost & Fortes (2001), o controle principal pode ser dado por: falha de empurrão (Mina III, Mina Nova e Pompex) ou falha transcorrente (depósitos dos *greenstone belts* de Pilar de Goiás e Guarinos). Esse trabalho enfatizará, especificadamente, os *greenstone belts* de Pilar de Goiás e de Guarinos e abordará apenas sucintamente o *greenstone* de Crixás.

Dois sistemas de falhas similares ocorrem nos *greenstone belts* de Guarinos e Pilar de Goiás, que são: a zona de cisalhamento Engenho Velho, onde se encontra o depósito de Maria Lázara, e a zona de cisalhamento Moinho, onde estão inseridos os depósitos Jordino, Cachoeira do Ogó e Três Buracos, também conhecidos como *trend JOT* (JOST e FORTES, 2001).

### **2.4.1. Depósitos auríferos do *Greenstone Belt* de Crixás**

O *greenstone belt* de Crixás hospeda várias ocorrências/depósitos de ouro relacionados geneticamente a processos controlados por falhas de empurrão e transcorrentes nas rochas supracrustais arqueanas, sendo os principais denominados de (i) Mina III, (ii) Mina Nova, (iii) Pompex e (iv) Mina Inglesa. Os depósitos Mina III, Mina Nova e Pompex ocorrem associados a zonas de cisalhamento de baixo ângulo, confinados em nível estratigráfico imediatamente acima do contato entre metabásicas e rochas metassedimentares, o que sugere uma natureza estratiforme. A complexa evolução dessas rochas, que envolve metamorfismo, intrusões graníticas e deformação, sucessivamente no Arqueano, Paleoproterozóico e Neoproterozóico, foi responsável pela formação de diferentes estilos de mineralização epigenética.

### **2.4.2. Depósitos auríferos do *Greenstone Belt* de Pilar de Goiás**

Segundo Dardene & Schobbenhaus (2001), a maioria dos depósitos minerais do *greenstone belt* de Pilar de Goiás está inserida em rochas metassedimentares de origem química e em rochas metavulcanoclásticas que pertencem à Formação Serra do Moinho. No *greenstone belt* de Pilar de Goiás os garimpos ocorrem numa extensão de 6 km e seguem

estratigraficamente. Trata-se de uma seqüência de xistos inclinando 20° SW. Os garimpos são, de SE para NW: Jordino, Cachoeira do Ogó e Três Buracos. A mineralização ao longo do *trend* JOT (Jordino-Ogó-Três Buracos) ocorre em dois níveis principais: (1) Clorita-xisto com veios de quartzo espessos e com alteração hidrotermal (baixo teor, boa espessura); e (2) Zona de contato entre clorita-xisto e grafita-xisto (maior teor, menor espessura).

O **depósito de Jordino**, segundo Carvalho (1999, p.42), “está localizado a 1,5 km ao sul de Pilar de Goiás e encontra-se no mesmo contexto geológico do Garimpo de Cachoeira do Ogó, onde há a predominância de rochas da Formação Serra do Moinho intrudidas por pequenos corpos de trondhjemitos. A litologia é constituída por pacotes de carbonato-sericita xistos feldspáticos intercalados com xistos carbonosos e cortados por veios de quartzo. Por sua vez, a zona mineralizada está associada a veios de quartzo enriquecidos em sulfetos (galena, esfalerita, pirita e arsenopirita) com processos de alteração hidrotermal incluindo sericitização, silicificação, carbonatação e sulfetação, com estruturas *pinch-and-swell* e *boudinagem* muito presentes nas camadas de minério. A foliação principal apresenta uma atitude de N88°E/24°SE, estando relacionado a superfícies de empurrão [...]”.

O **depósito de Tóti/Três Buracos**, está localizado na porção norte da Fm. Serra do Moinho, aproximadamente 3 km da cidade de Pilar de Goiás (Carvalho 1999, p.43). Segundo Lacerda (1996), a estratigrafia da área é constituída por clorita-xisto quartzo, biotita-clorita-carbonato xistos, anfibólio xistos feldspáticos com intercalações de gondito, filitos carbonosos, localmente ricos em carbonatos e lentes de talco xisto, sobrepostos ao pacote de granada-clorita-sericita xistos e clorita-biotita-carbonado-quartzo xistos bandados, encaixantes da mineralização. A estrutura principal da área está condicionada a um mega sinclínório fechado a isoclinal, com eixo caindo 12°S e com plano axial N34°W/24°SW. O espessamento da charneira e a mobilização de fluidos para esta zona parecem controlar a distribuição dos níveis mineralizados, sendo que os principais processos de alteração hidrotermal são a carbonatação, sericitização, silicificação, sulfetação e turmalinização (Carvalho 1999).

Nesse depósito há a presença de, pelo menos, dois tipos de minério: “(i) relacionado a veios e vênulas de quartzo ± carbonato, concordantes com a foliação principal e encaixadas em granada-clorita-quartzo xisto, sericita-quartzo xisto e sericita-quartzo-sericita xisto. Quando estão próximos aos xistos carbonosos encontram-se mais espessos e com teores de ouro bem mais elevados. A arsênio pirita e pirita ocorrem como sulfetos principais e,

juntamente com o ouro, apresentam teores de arsênio (> 10.000 ppm); **(ii)** relacionado a disseminações de sulfetos (pirita e arsenopirita) em xistos carbonosos, mas com baixos teores de ouro [...]”(Carvalho, 1999, p.44).

**O depósito de Cachoeira do Ogó**, estudado por Pulz (1995), está associado à Zona de Cisalhamento Moinho, no contato entre o Bloco Moquém e a Formação Serra do Moinho, unidade de topo da estratigrafia do *greenstone* de Pilar. A distribuição do minério é condicionada por *saddle reefs* e charneiras de dobras recumbentes, que deformam rochas vulcanoclásticas, exalitos, pelitos e filitos carbonosos metamorfisados. O ouro encontrado é ouro nativo e electrum com auto coeficiente de pureza. O ouro nativo ocorre associado à galena, cuja assinatura isotrópica de Pb indica que esse metal foi extraído do reservatório há pelo menos 2025 Ma. Pulz (1995), ainda sugere que os minerais foram depositados em quatro estágios de mineralização, incluindo a precipitação de metais no assoalho oceânico (estágio inferior e intermediário) seguida pela recristalização e remobilização produzida durante o cisalhamento e a intrusão granítica na camada mineralizada. A gênese do depósito pode ser explicada pelo modelo em multi-estágios ou de remobilização, que é sustentada pelos dados isotópicos do carbono, que sugerem que as rochas na área do depósito aurífero de Cachoeira do Ogó interagiram com a água, bem como com fluidos metamórficos, magmáticos e juvenis, ou seja, a deposição primária dos minerais auríferos nos exalitos e metapelitos, seguida de reconcentração nos veios durante eventos posteriores de cisalhamento que afetaram o *greenstone belt*.

Em uma escala regional, os guias prospectivos para esse depósito aurífero são dados pela associação com rochas metavulcânicas, exalitos e rochas metassedimentares vulcanoclásticas, anomalias de Pb, superfícies de cavalgamento, *saddle reefs* e eixo de dobras recumbentes (PULZ, 1995). Já o modelo do depósito de Cachoeira do Ogó sugere uma origem singenética com a existência de um ambiente vulcano-exalativo com intensa atividade de fumarolas e infiltração de água do mar numa pilha vulcanossedimentar, resultando no enriquecimento do ouro, depois mobilizado e reconcentrado durante o metamorfismo e a deformação (PULZ, 1995).

### 2.4.3. Depósitos auríferos do *Greenstone Belt* de Guarinos

Os depósitos de ouro da Faixa Guarinos consistem de importantes prospectos hospedados em rochas metassedimentares afetadas por zonas de cisalhamento regionais acompanhadas por intensa alteração hidrotermal.

#### 2.4.3.1. Depósito de Maria Lázara

O depósito de ouro de **Maria Lázara** está localizado no contato entre as rochas supracrustais do *greenstone belt* Guarinos e os gnaisses granodioríticos do Bloco Moqué, na Zona de Cisalhamento Engenho Velho, N10W, é dextral e de caráter dúctil-rúptil (DARDENE e SCHOBENHAUS, 2001). As rochas encaixantes da mineralização são biotita-clorita xistos silicificados (CAMPOS, 2007), actinolita milonitos derivados de metabasaltos da Formação Serra Azul. O pacote mineralizado é composto por filitos carbonosos, formações ferríferas bandadas e granada-biotita filonito, submetidas a graus variáveis de alteração hidrotermal (PULZ, 1995). Segundo Pulz (1990), Pulz *et al.* (1991), a área de alteração hidrotermal pode ser dividida em três zonas: (i) Zona propilítica externa, que é caracterizada por processos de carbonatação, epidotização, muscovitização e albitização. Possui uma espessura de aproximadamente 400m; (ii) Zona potássica intermediária, que possui uma espessura variável entre 50 – 100m e é evidenciada por processos de biotitização, cloritização, turmalinização, sericitização e sulfetação (pirita e arsenopirita I), e a passagem da zona propilítica para a zona potássica ocorre de maneira gradual e, por último, (iii) Zona sericítica interna, que ocorre de maneira restrita ao redor dos veios encontrados na zona potássica, na forma de auréolas com espessuras de 1 – 15 cm. É caracterizada por processos de sericitização, sulfetação (arsenopirita II, pirita, calcopirita, pirrotita e esfalerita), turmalinização, cloritização e biotitização (DARDENNE e SCHOBENHAUS, 2001).

O minério do depósito possui uma morfologia tabular concordante com a foliação, representado por sistema de vênulas de quartzo esbranquiçado em meio a biotita-clorita xisto silicificado. O minério é composto por maldonita, na forma nativa, e como composto de Au-S-Te-Bi numa paragênese constituída principalmente de arsenopirita e pirita, além de calcopirita, pirrotita, galena, molibdenita, tetradimita-bismutinita e monazita subordinadas (PULZ *et al.*, 1991). A razão Au/Ag varia de 90,8 a 99,3. Segundo Pulz (1990), o ouro apresenta relação positiva com Bi, Te e B, enquanto o arsênio indicaria somente a

proximidade da ocorrência do ouro, e não a ocorrência propriamente dita. Na estrutura do depósito estão presentes veios e vênulas de quartzo. O ouro preenche microcavidades em arsenopirita, contatos retilíneos, ou em meio à ganga (quartzo e micas), apresentando formas sub-arredondadas (CAMPOS, 2007). Veios na forma de tablete de chocolate (PULZ, 1995). O controle da mineralização é lito-estratigráfico, visto que a mineralização ocorre em rochas hidrotermalizadas da Formação Serra Azul, de composição máfica; e estrutural, já que a mineralização ocorre em zona de cisalhamento.

De acordo com as características geológicas descritas e analisadas por Pulz (1995), o modelo genético de depósito mineral proposto para Maria Lázara sugere “[...] uma origem epigenética associada à percolação de fluidos metamórficos (fluidos estes que interagindo com os filitos carbonosos propiciaram a oxidação da matéria orgânica, produzindo carbonatos disseminados no halo hidrotermal e nos veios) e magmáticos (atuante no processo mineralizante) durante e nos estágios finais da formação da zona de cisalhamento Engenho Velho. A mistura desses fluidos metamórficos com magmáticos promoveu a alteração das paragênese resultando, desta forma, nas zonas biotita-sulfeto e mica branca-sulfeto, que constitui a camada mineralizadora do depósito de Maria Lázara”. A temperatura obtida por geotermômetros de maldonita e Au-nativo indica que o ouro precipitou em temperatura variável de 116 a 371°C (PULZ, 1990). Os fluidos metassomáticos seriam derivados de fluidos metamórficos e graníticos, esses últimos responsáveis pela associação turmalina + molibdenita + calcopirita + pirita encontrada no depósito. Os fluidos metamórficos e magmáticos teriam sido gerados durante o último evento deformacional da região, mobilizados para armadilhas estruturais representadas pelas zonas de dilatação em sombras de pressão do Trondhjemito Santo Antônio e canalizados através da Zona de Cisalhamento Engenho Velho. A idade K-Ar de  $557 \pm 11$  Ma obtida por Pulz (1995) em biotita da zona de alteração potássica corroboram essa interpretação. As texturas e composição das paragêneses de sulfetos e minerais auríferos revelaram que os estágios de mineralização foram produtos da repetição de pulsos de fluidos hidrotermais, independentes e episódicos, que se ajustam ao modelo *fault-valve* (ou válvula de falha) – pulsos de descarga de soluções mineralizantes entre ciclos de pressão de fluido supra-hidroestática e supralitostática (SIBSON, 1990).

Pulz (1995) descreve granitóides caolinizados no interior da zona mineralizada e sugere que essas rochas contribuíram com fluidos magmáticos no sistema hidrotermal do depósito. Em uma escala regional, os guias exploratórios/ prospectivos para os depósitos de

ouro são dados pela intersecção de zonas estreitas de alta deformação preferencialmente em rochas tais como xistos carbonosos, formações ferríferas e metabasaltos.

O depósito Maria Lázara está situado no ponto tríplice na borda sul do Trondhjemito Santo Antônio, intrusivo na Zona de Cisalhamento Engenho Velho. Os mecanismos de cisalhamento simples favorecem a possibilidade da repetição dessa estrutura na borda norte do Trondhjemito Santo Antônio, a qual constitui outra área-alvo potencialmente favorável a alojar anomalias auríferas análogas ao depósito Maria Lázara (PULZ, 1995, p. 175).

#### **2.4.3.2. Depósito Caiamar**

O depósito de Caiamar, situado na porção noroeste do *greenstone belt* de Guarinos, possui reservas estimadas em 700 mil ton de minério com teor médio de 7,44g/t Au (LACERDA, 1991). O depósito é encaixado em rochas metassedimentares representadas por biotita xistos finos na base, com níveis métricos de biotita anfíbolitos, passando por xistos carbonosos, localmente granadíferos, e granada-biotita gnaisses, os quais hospedam a mineralização.

O minério é constituído por gnaisses, contendo de 2 a 3% de sulfetos (arsenopirita e pirita), ricos em biotita, turmalina e carbonatos hidrotermais, submetidos à silicificação. A sua espessura varia de 1,5 a 12m e ocorre até 150m de profundidade. O controle do minério é estrutural, sendo delimitada por zona de cisalhamento com atitude média NS/45°W, e apresenta lineação mineral que mergulha 45° para sul, coincidente com o *plunge* da mineralização aurífera. Essa lineação NS é geralmente atribuída ao Evento Transamazônico (DARDENE e SCHOBENHAUS, 2001).

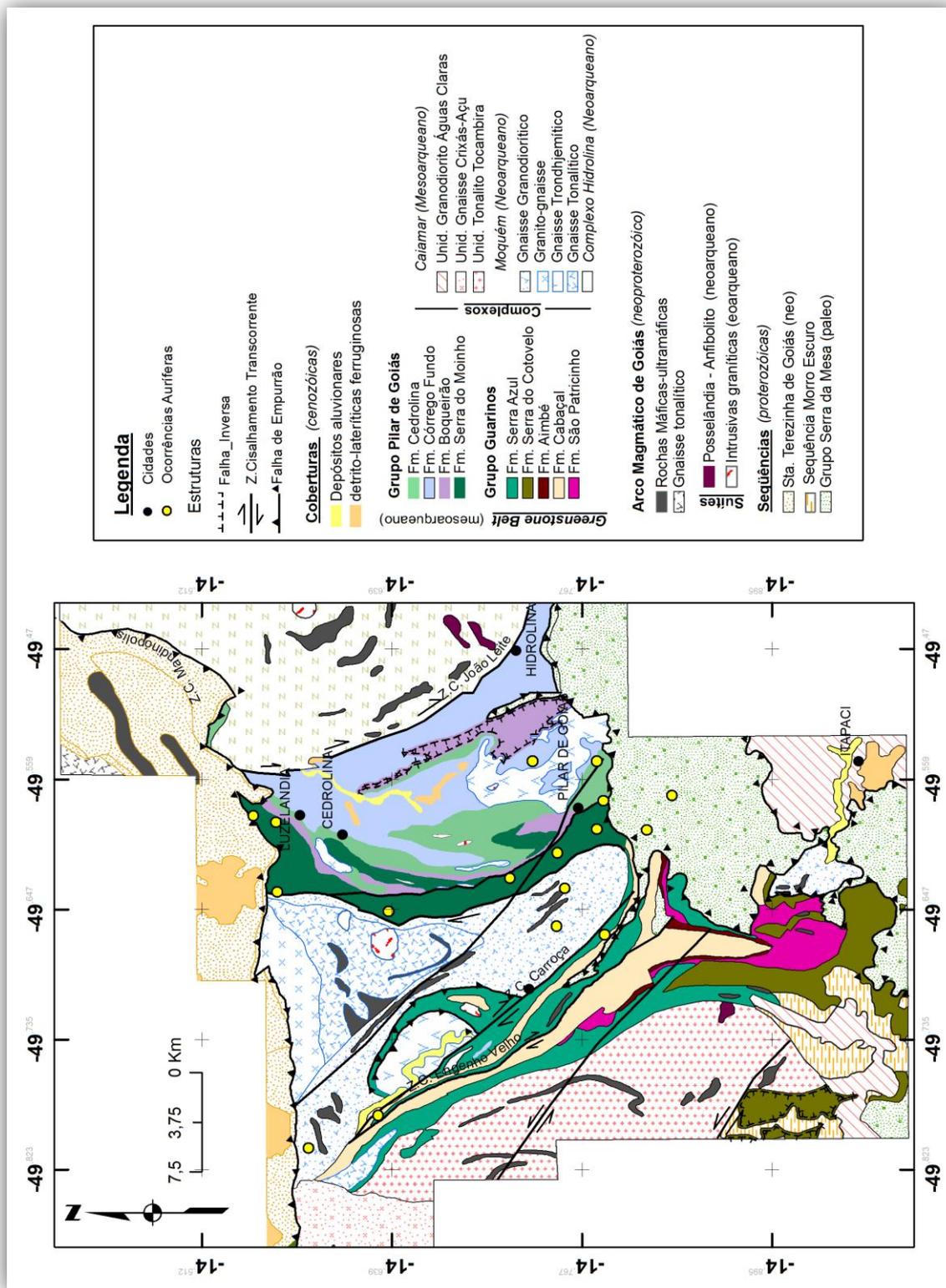


Figura 2.6. Mapa geológico dos greenstones belts de Guarinos e Pilar de Goiás e suas respectivas ocorrências auríferas (modificado de Moreton et al. (org). 2008).

Característica	Cachoeira do Ogó	Jordino	Maria Lázara	Caiamar
<b>Greenstone Belt</b>	Pilar de Goiás	Pilar de Goiás	Guarinos	Guarinos
Ano da descoberta	Século XVIII	Século XVIII	Século XVIII	Século XVIII
Método	Bandeirantes desconhecida	Bandeirantes desconhecida	Bandeirantes desconhecida	Bandeirantes desconhecida
Medida Estimada*	5	6,5	6,5	6,5
Teor médio (g/t)	~ 2	~ 2	~ 2	7,44
Au total (t)	10	13	13	
Litologias	Xistos carbonosos	carbonato-sericita xistos feldspáticos intercalados com xistos carbonosos cortados por veios de quartzo	Metabasaltos e xistos carbonosos	metagrauvascas e filitos carbonosos
Rochas hospedeiras	Veios de quartzo	Veios de quartzo	Veios de quartzo em meio ao biotita-clorita xisto silicificado	Veios de quartzo com KF, biotita, sulfeto (Aspy) e carbonato.
Rochas Encaixantes	Falha transcorrente	Falha transcorrente	Bt-CI Xistos silicificados, actinolita milonitos derivados do basalto da	biotita quartzo xisto (metagrauvaça)
Controle estrutural	Falha transcorrente	Falha transcorrente	Falha transcorrente	Falha de empurrão
Estrutural: direção preferencial			NW	NW, com enriquecimento E-W
Tipo de minério	Sulfeto disseminado	Sulfeto disseminado	Sulfeto disseminado	Sulfeto disseminado
Mineralogia do minério	Aspy, py, ccpy, gal	Aspy, py, gal, esferalita	Aspy, py, ccpy, po (mo, bi, gal)	Aspy.
Ocorrência de ouro	Ouro nativo como inclusões em sulfetos e quartzo		Ouro nativo e complexos de Bi-S-Te como inclusões em sulfetos e ganga	Ouro nativo como inclusões em quartzo e arsenopirita
Alteração hidrotermal	Carbonatização e silicificação	sericitização, silicificação, carbonatização e sulfetação	Propilítica, potássica e filica	Ca-Na, pervasiva
Guias Exploratórios / Prospectivos	Rxs metavulcânicas, exalitos e metassedimentos vulcanoclásticos, anomalias de Pb	zonas venuladas com sulfetos e/ou óxidos de Fe.	intersecção de zonas estreitas de alta deformação em xistos carbonosos, BIF's e metabasaltos	zonas venuladas com sulfetos e/ou óxidos de Fe.
Modelo Genético	amb. vulcano-exalativo com fumarolas e infiltração de água do mar numa pilha vulcanossedimentar		origem Epigenética assoc. a percolação de fluidos metamórficos e magmáticos	origem Epigenética assoc. a percolação de fluidos metamórficos e hidrotermais

fontes: Pulz, 1995; Jost&Fortes, 2001 - Ogó Carvalho, 2001 - Jordino e Maria Lázara Dardene & Schobbenhaus, 2001; Yamana Gold Inc, 2010 - Caiamar

**Tabela 2.1.** Síntese das características dos depósitos e ocorrências de ouro da Província aurífera Crixás (modificado de JOST & FORTES, 2001).

## CAPÍTULO 3

---

### PROCESSAMENTO DE DADOS MULTIFONTE

#### 3.1. Apresentação

Nesta etapa foram utilizados dados aerogeofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos) e de sensoriamento remoto (tal como imagens de satélite ALOS, além do Modelo Digital de Elevação do Terreno - SRTM) da área.

#### 3.2. AEROGEOFÍSICA

Os dados aerogeofísicos utilizados foram coletados durante o “Projeto de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás” executado entre os anos de 2004 e 2006 pela empresa LASA ENGENHARIA E PROSPECÇÕES S/A, conveniada ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM, ao Ministério de Minas e Energia – MME, a Secretaria de Indústria e Comércio / Superintendência de Geologia e Mineração – SIC e ao Fundo de Fomento a Mineração – FUNMINERAL.

Esses levantamentos aerogeofísicos foram realizados em três etapas que compreenderam 5 grandes áreas nos respectivos anos:

##### 1ª Etapa - 2004

Área 1: “Arco Magmático de Arenópolis, Complexo Anápolis-Itauçu e Sequência vulcano-sedimentar de Juscelândia”, correspondendo a 324 folhas, formato 1:25.000.

Área 2: “Arco Magmático de Mara Rosa”, correspondendo a 85 folhas, formato 1:25.000.

##### 2ª Etapa - 2005

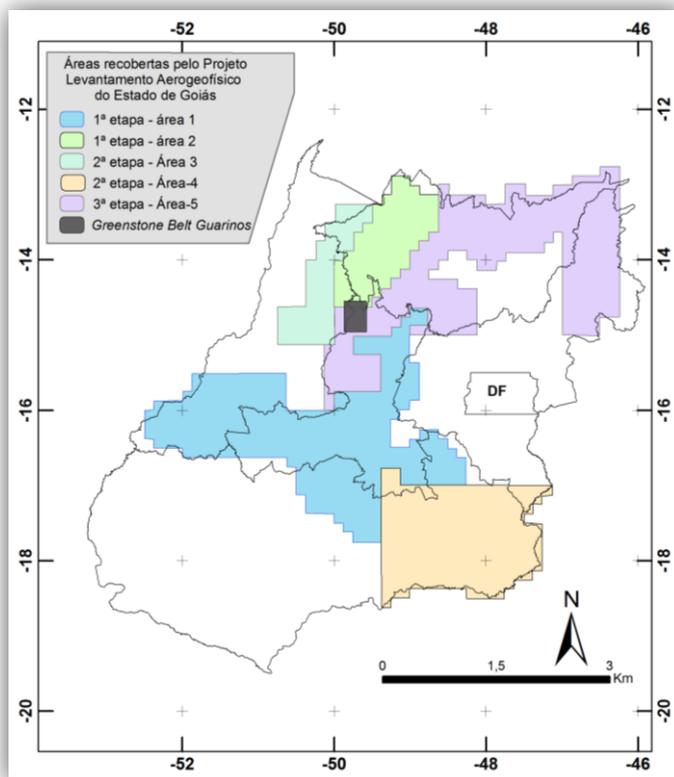
Área 3: “Oeste do Arco Magmático de Mara Rosa”, correspondendo a 61 folhas, formato 1:25.000.

Área 4: “Faixa Brasília Sul”, correspondendo a 193 folhas, formato 1:25.000.

##### 3ª Etapa - 2006

Área 5: Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás, correspondendo a 292 folhas, formato 1:25.000.

A área de trabalho dessa dissertação está inserida em duas áreas aerolevantadas: uma parte encontra-se na porção sul da área 2 e a outra, encontra-se na porção oeste da área 5.



**Figura 3.1.** Articulação da área de trabalho e das áreas recobertas pelo Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás.

### 3.2.1. Descrição dos Aerolevantamentos

A 1ª etapa do Programa de levantamento aerogeofísico foi desenvolvida nos períodos entre 15/07/2004 e 02/08/2004, e constou do recobrimento de 36.569,731 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução. Nesta primeira fase foram executadas a totalidade das linhas de controle (19010 a 19390) e as linhas de produção de 10010 a 11120 (HILDENBRAND (org), 2004). Já 3ª etapa desse levantamento aerogeofísico, constou do recobrimento de 115.471 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução envolvendo uma área de cerca de 50.440 km<sup>2</sup>, que ocorreu entre os períodos 01/05/2006 e 10/07/2006 com o recobrimento da parte oeste do projeto e entre 08/06/2006 e 01/09/2006 com o recobrimento da porção leste (HILDENBRAND (org), 2006).

Os parâmetros que nortearam a execução da 1ª e 3ª etapa dos levantamentos estão resumidamente descritos a seguir:

Direção das linhas de vôo	N-S
Espaçamento entre as linhas de vôo	0,5 km
Direção das linhas de controle	E-W
Espaçamento entre as linhas de controle	5,0 km
Intervalo entre medições geofísicas consecutivas	0,1 s (magnetômetro) e 1,0 s (espectrômetro)
Altura média de vôo	100 m

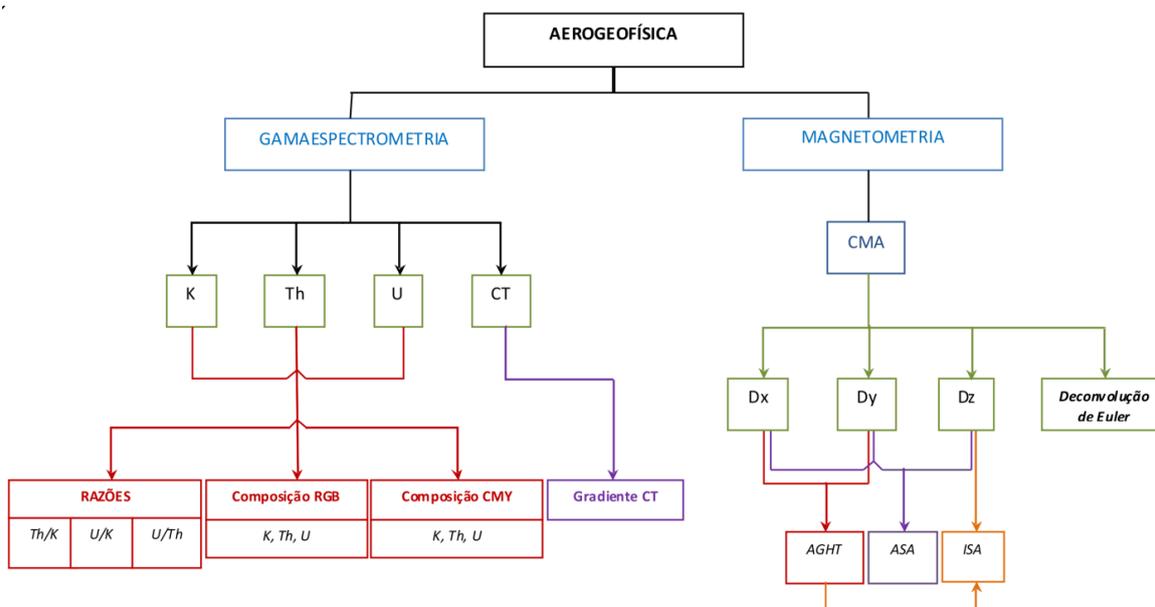
**Tabela 3.1.** Característica dos levantamentos aerogeofísicos da 1ª e 3ª fase do Estado de Goiás.

### 3.2.2. Processamento dos Dados

Imagens magnetométricas e gamaespectrométricas foram produzidas para a caracterização geológico-geofísica da área. Para isto foi feita uma avaliação das linhas de vôo e testes de consistências como a diferença quarta apresentados em Blum (1999) e que permitem a análise de possíveis valores fora do desvio-padrão dos dados. Para a obtenção das malhas, durante o processamento, foi utilizado o método de interpolação de dados denominado curvatura mínima, usando uma malha com 1/4 do espaçamento das linhas de vôo (125m). Este método de interpolação foi escolhido por apresentar um melhor resultado, usando o espaçamento entre os pontos interpolados equivalendo a 1/4 da distância entre as linhas de vôo (125m).

Na área de estudo, por estar inserida entre dois aerolevantamentos como já mencionado, se fez necessário utilizar o método de sutura de *grids* utilizando as malhas da área 2 e 5. Em seguida, foi aplicado um micronivelamento nas malhas para poder diminuir os ruídos presentes na imagem. O micronivelamento aqui aplicado foi o proposto por Blum (1999) com base em Minty (1991), que consiste em **(i)** aplicar um filtro passa-alta (PA) em uma malha A na direção perpendicular à linha de vôo, salvando o então resultado em uma malha B; **(ii)** aplicar um filtro passa-baixa (PB) na malha B, na direção da linha de vôo, salvando na malha C; **(iii)** e, por último subtrair a malha A da malha C para a obtenção da malha final. Após o processo de micronivelamento, foi utilizada a filtragem do tipo *hanning* duas vezes.

Para o processamento dos dados aerogeofísicos foi empregado a versão Oasis Montaj *Standard Edition* v. 7.1.1 do sistema GEOSOFT Inc. Copyright© 2009. As etapas, do processamento, estão resumidas no fluxograma a baixo.



**Figura 3.2.** Fluxograma das etapas e produtos do processamento de dados aerogeofísicos: Gamaespectrométricos e Magnetométricos.

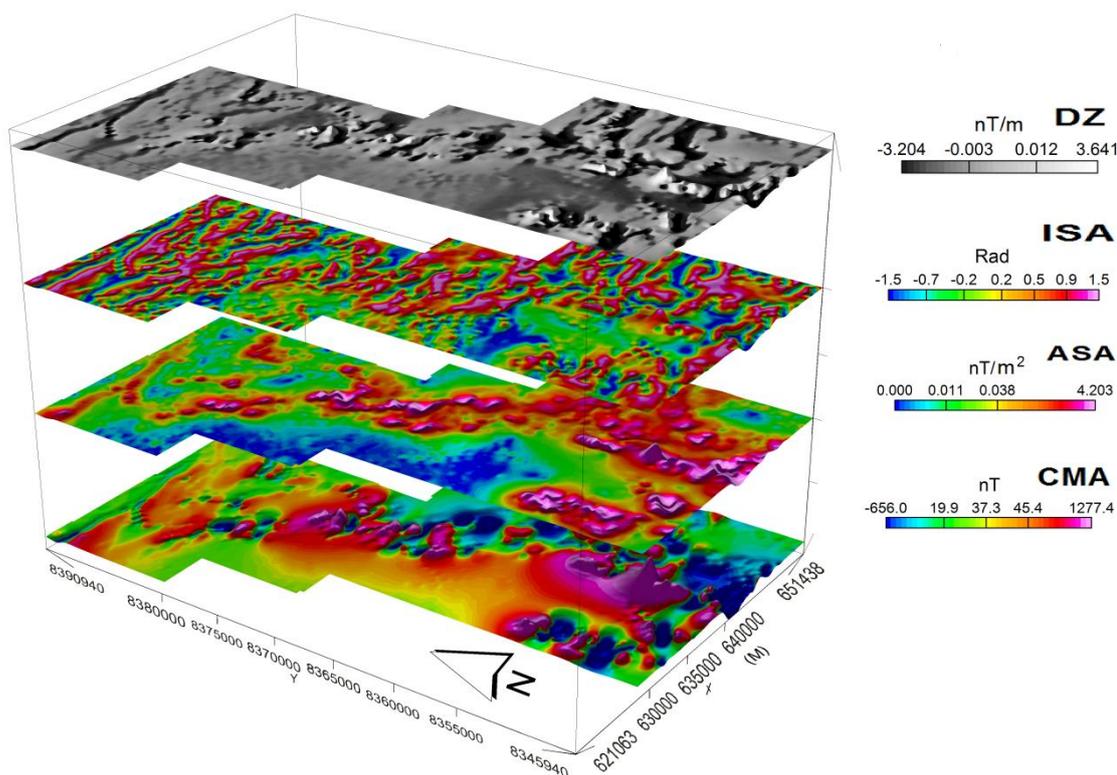
### 3.2.3. Dados Magnetométricos

A magnetometria é um método geofísico em que se baseia na medição do campo magnético terrestre, tendo como principal componente a interação do geomagnetismo com os minerais magnéticos presentes nas rochas, sendo desta maneira, uma ferramenta aplicada diretamente em mapeamentos de feições magnéticas, tais como horizontes estratigráficos e litotipos específicos que podem ou não estar mineralizados como, por exemplo, em depósitos de ferro, níquel e em alguns tipos de depósitos de metais básicos e preciosos. Na prospecção aurífera é usada indiretamente na identificação de estruturas que possam estar associadas à mineralizações, bem como na detecção de presença ou ausência de minerais magnéticos associados ao hidrotermalismo (CARVALHO, 1999).

A partir do Campo Magnético Anômalo (CMA) derivou-se (i) amplitude do sinal analítico - ASA, que é a raiz quadrada da soma dos valores quadráticos das derivadas em x, y e z. A ASA representa a medida da quantidade de magnetização com pouca dependência dos parâmetros da direção de magnetização dos corpos e do campo terrestre (GUNN, 1997); (ii) a vertical (Dz), que representa os campos magnéticos nos quais os efeitos regionais e a

interferência entre anomalias adjacentes são eliminados (GUNN *et al.* 1997), as duas derivadas horizontais (Dx e Dy) realçam altas frequências, proporcionando respostas ambíguas para corpos magnéticos estreitos (MILLIGAN & GUNN, 1997); a partir da combinação das duas derivadas horizontais, foi obtido a **(iii)** Amplitude do gradiente horizontal total (AGHT), que proporciona a possibilidade de verificação de grandes variações laterais; além desses produtos já mencionados, foram elaborados, também, a **(iv)** inclinação do sinal analítico – ISA e a **(v)** Deconvolução de Euler, com índices estruturais iguais a 0 e 1. As etapas de processamento dos dados magnetométricos estão ilustradas na **Figura 3.2**.

Foram gerados mapas em pseudocor, com tonalidades azuis representando o baixo magnético e tonalidades vermelhas representando os altos, realçando desta maneira as estruturas e os domínios litológicos da área. Desta forma, auxiliando na confecção de mapas de lineamentos e de domínios magnéticos.



**Figura 3.3.** Produtos magnetométricos obtidos a partir do CMA.

**(i)** A imagem da *ASA* permitiu a determinação de alguns parâmetros geométricos, tais como a localização de limites geológicos e estruturais de corpos (BLUM, 1999). Esse produto combina as derivadas direcionais, *DX*, *DY*, *DZ*, e representa a medida da amplitude, em  $nT/m^2$ , independente da direção (**Figura 3.4a**).

(ii) A imagem *DZ* foi aplicada para amplificar a informação de comprimentos de ondas curtas em detrimento dos comprimentos longos, acentuando os gradientes nas bordas de corpos magnéticos rasos (BLUM, 1999). A primeira derivada vertical do campo magnético anômalo foi utilizada na delimitação de feições estruturais (como contatos, descontinuidades ou lineamentos), os quais são de difícil realce em mapas de campo magnético anômalo. (**Figura 3.4b**).

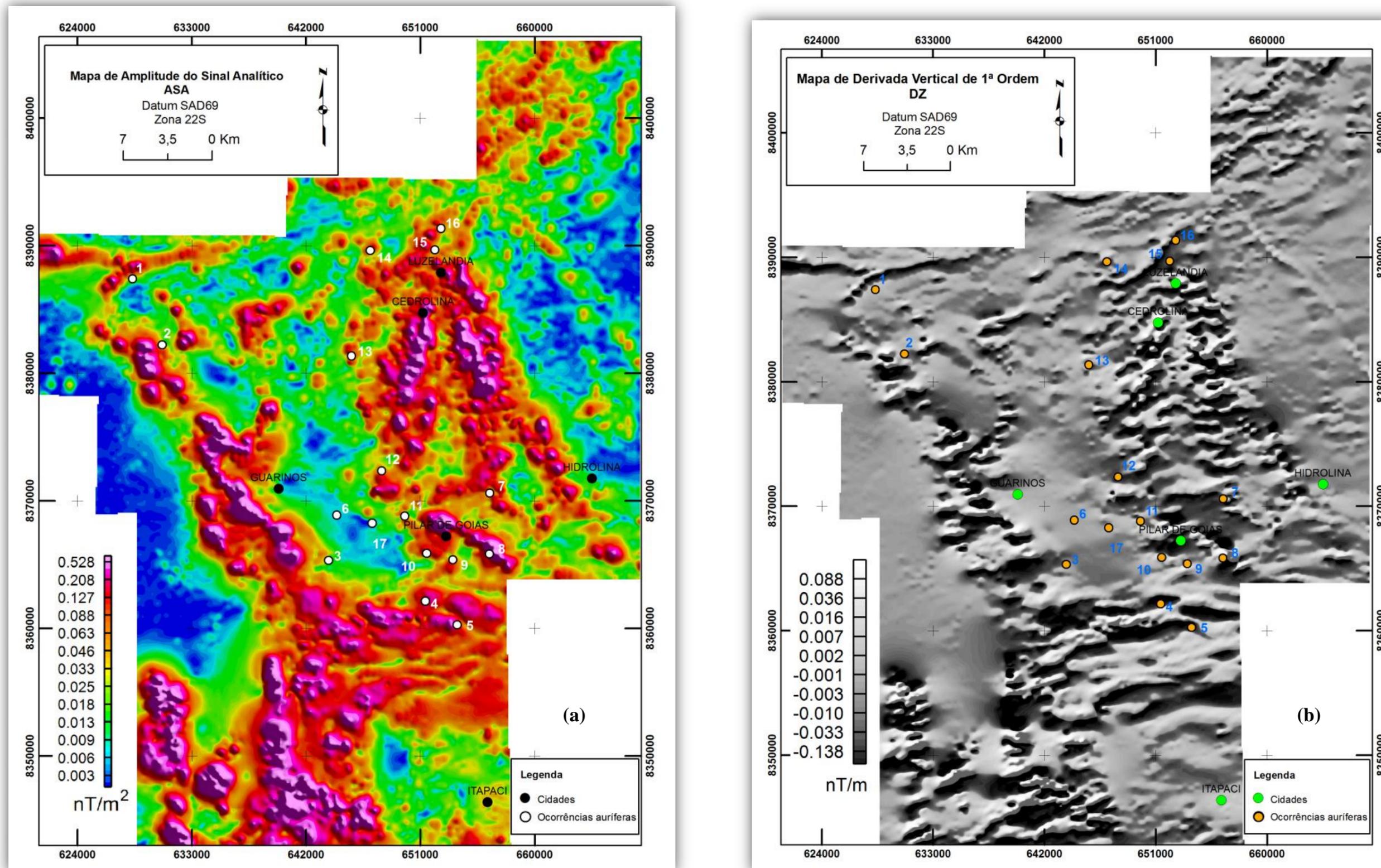
(iii) A imagem *AGHT* foi utilizada para ressaltar as mudanças laterais abruptas no campo magnético. A magnitude do gradiente horizontal é a raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas parciais de um campo potencial em relação à  $x$  e a  $y$  (**Figura 3.4c**).

(iv) As imagens *ISA* são eficientes para mostrar as feições lineares do relevo magnético. Trata-se de estimativa do mergulho da fonte causadora e conseqüentemente o contraste localizado de diferentes susceptibilidades (BLUM, 1999). A fase do sinal analítico possui um padrão textural que auxilia a caracterização dos domínios magnéticos e feições lineares. (**Figura 3.4d**).

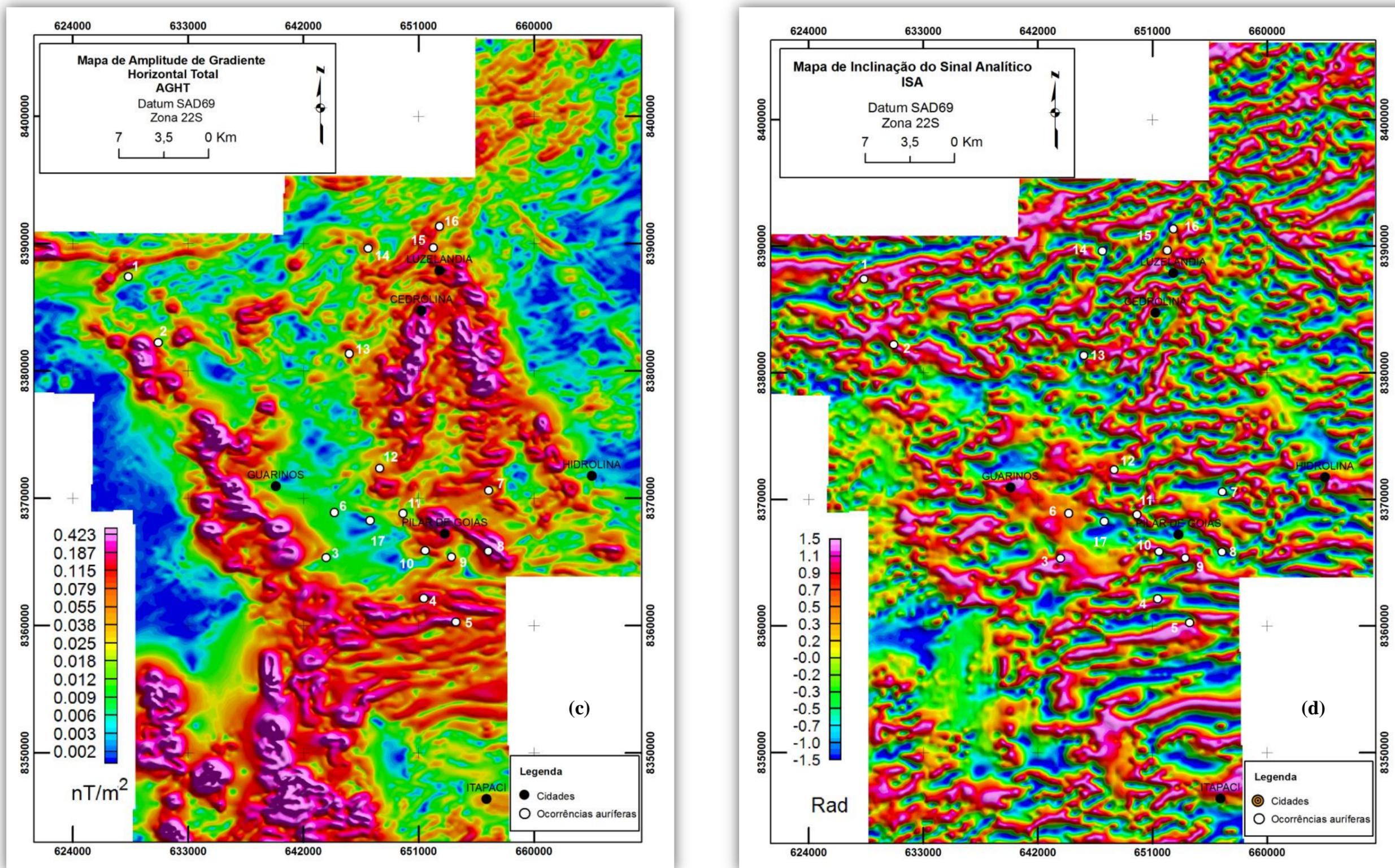
(v) A *deconvolução de Euler* trata de um método de interpretação automática que fornece uma estimativa da posição horizontal e da profundidade de fontes anômalas a partir de dados de campos potenciais. Originalmente, este método foi amplamente utilizado para interpretar um grande volume de dados aeromagnéticos devido à alta velocidade de processamento, e à desnecessidade dos conhecimentos da geometria da fonte geológica anômala e do vetor magnetização das fontes (BARBOSA e SILVA, 2005).

Foram testados todos os índices estruturais ( $si$ ), índices esses que variam de 0 a 3 dependendo da forma do corpo, sendo que os que apresentaram melhores resultados foram: índice estrutural igual a 0 (zero), que foi aplicado para delimitar melhor os contatos geológicos da área; e índice estrutural igual a 1, utilizado para delimitar os diques.

O espectro de potência da região de Guarinos indica a presença de fontes magnéticas com topo e torno de 1,8 Km de profundidade e fontes superficiais onde a profundidade média do topo está em torno 400m, sendo desta maneira compatível com os resultados do Euler de índice estrutural 1. O espectro de potência permite estimar somente a profundidade em que se encontram o topo das fontes e não profundidades como espessuras dos corpos ou profundidade dos mesmos.



**Figuras 3.4.** Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-sáda Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16); (17) garimpo Natal] sobreposta às imagens (a) ASA, (b) Dz.

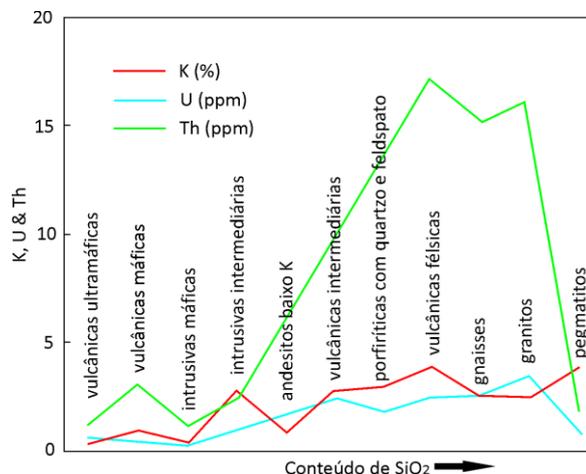


**Figuras 3.4.** Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal] sobreposta as imagens (c) AGHT e (d) ISA.

### 3.2.4. Dados Gamaespectrométricos

A aerogamaespectrometria, segundo Dickson & Scott (1997), envolve a medição da radiação gama e é uma aquisição geoquímica de superfície das concentrações de K, Th e U, que refletem variações litológicas, eventos de mineralização ou intemperismo diferencial e demais efeitos em regolitos. Mostram, ainda, que a concentração dos radioelementos em rochas ígneas tende a aumentar com o aumento de Si. A razão Th/U é muitas vezes aplicada para medir o grau de diferenciação de suítes graníticas. Aplitos e pegmatitos apresentam alto K, porém, baixo U e Th (**Figura 3.5**).

De acordo com Soares (2001), dependendo do protólito original da rocha, o metamorfismo não altera o teor de radioelementos. Os níveis radioativos das rochas ígneas podem estar correlacionados aos seguintes fatores: Teor de sílica e a posição dentro de um único *plúton*. Bem como o teor de U e Th nas rochas ígneas pode ser ocasionados pelos minerais acessórios levemente radioativos; minerais essenciais fracamente radioativos e material radioativo localizado entre os grãos e em defeitos estruturais de minerais (VASCONCELLOS *et al.*, 1994).



**Figura 3.5.** Variação nos conteúdos médios de K, U e Th para rochas ígneas com o aumento progressivo de SiO<sub>2</sub> (DICKSON & SCOTT, 1997).

Com base nesses conceitos, foram geradas imagens nos canais do (i) potássio, (ii) do tório, (iii) do urânio, (iv) de contagem total, (v) as razões e, por fim, confeccionadas (vi) as composições ternárias RGB e CMY (**Figura 3.6a e b**), a partir de uma interpolação dos dados de origem. Também foi obtido um modelo digital de terreno – MDT (**Figura 3.7**), utilizado como uma quarta componente (canal de intensidade) nas combinações ternárias.

(i) O **potássio** é o elemento de maior representatividade na crosta terrestre, com concentração média de 2,35%, está presente em minerais como: feldspatos alcalinos (ortoclásio e microclínio possuem 13 % de K) e micas (muscovita, biotita possuem cerca de 8% de K). Sendo assim, a concentração de potássio é alta em rochas félsicas, baixa em rochas máficas e muito baixa em rochas ultramáficas, desta forma o canal do potássio mostra-se bastante favorável a caracterização litológica da crosta terrestre. O potássio ocorre, geralmente, concentrado em zonas de alteração hidrotermal.

(ii) O **tório**, que possui uma concentração média na crosta terrestre ~12 ppm, ocorre na valência  $\text{Th}^{+4}$ , e é insolúvel, exceto em condições ácidas. Ele pode estar presente em minerais, tais como allanita, monazita e zircão com concentrações em torno de 1000 ppm, ou como elemento-traço de outros minerais. Esse elemento é o mais inerte dos três radioelementos. O grande equilíbrio dele faz com que ele seja um ótimo marcador litológico, como nota-se, na imagem desse canal: os limites entre o complexo Hidrolina e o *greenstone* de Pilar; Bloco Moquém e a porção leste do *greenstone* de Guarinos. Sua concentração quando superior a dos outros radioelementos indica a região de maior intemperismo químico. Esse canal é pouco útil na identificação de sistemas mineralizados, pois a maioria das rochas submetidas ao hidrotermalismo e ao intemperismo não apresenta alterações significativas no teor de tório em relação às rochas originais.

(iii) O **urânio** é o elemento de menor concentração (~3 ppm) e pode ser encontrado em dois estados de valência, sendo o primeiro insolúvel ( $\text{U}^{+4}$ ) e o segundo solúvel ( $\text{U}^{+6}$ ). O urânio liberado pela quebra de minerais durante o intemperismo pode ser retido em óxidos de Fe autigênicos e minerais de argilas ou ainda, precipitados sob condições redutoras. Assim como o tório, ele ocorre em minerais acessórios como inclusões em minerais formadores de rochas ou como grandes grãos em granitos mineralizados e pegmatitos. Por se tratar de um elemento facilmente remobilizado em condições oxidantes, o esse elemento se concentra ao longo das redes de drenagens e, conseqüentemente, espalha-se mais do que os demais elementos.

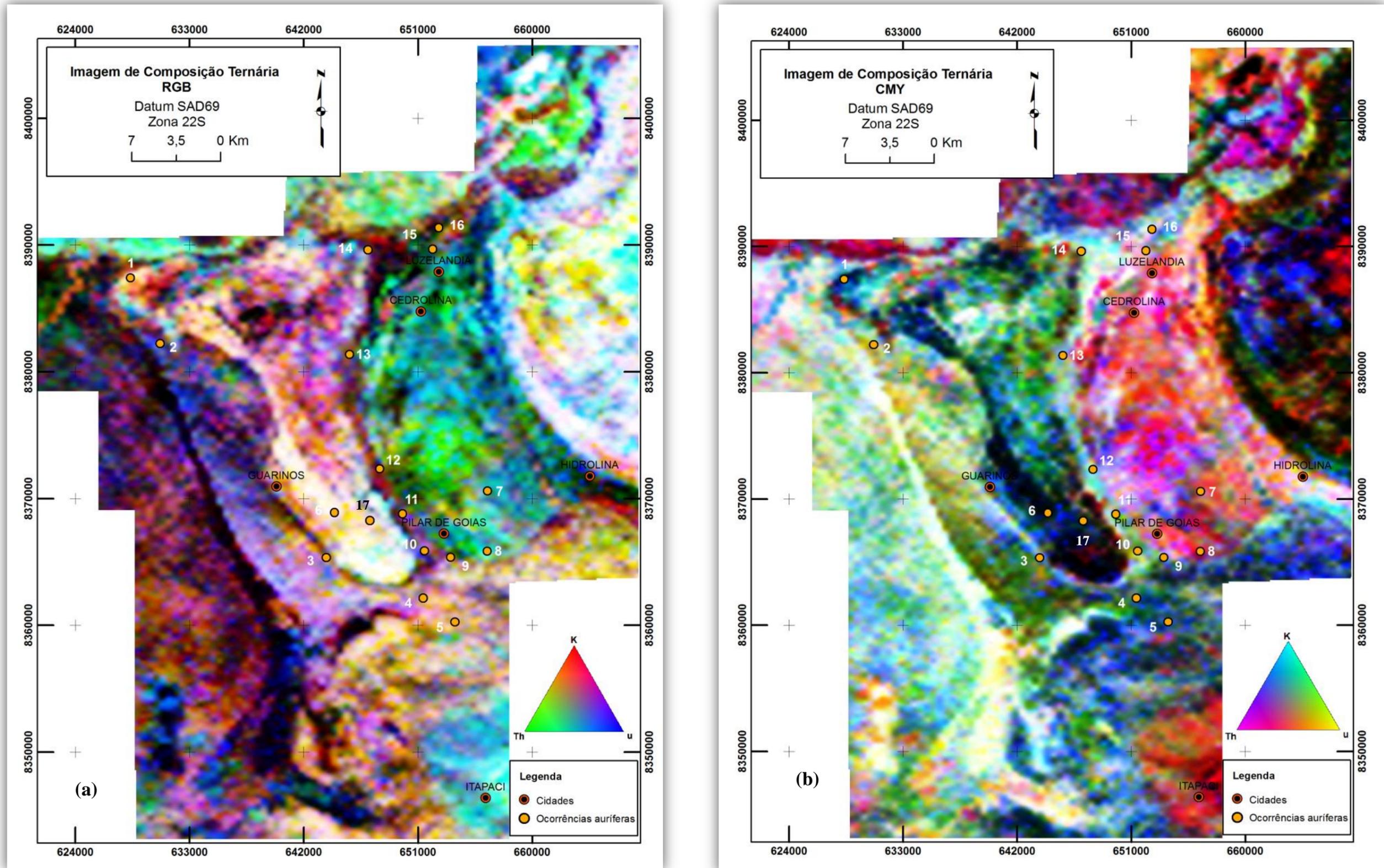
(iv) O canal de **Contagem Total**, definiu os domínios com maior emissão de raios gama presentes. O produto gerado desse canal possibilitou a distinção de terrenos com rochas de caráter ácido, representadas por (a) unidades metassedimentares e terrenos granito-gnáissicos; e por (b) unidades sedimentares e máfica-ultramáfica dos *greenstones* (**Figura 3.8a**).

(v) As *Razões* são muito utilizadas para ressaltar um radioelemento em relação a outro e para criar contraste em regiões onde ocorreram processos de hidrotermalismo. A razão Tório/ potássio (**Th/K**) tende mostrar as zonas em que ocorreu concentração ou subtração de potássio sem haver enriquecimento em tório. As anomalias do potássio podem representar zonas de hidrotermalismo, sendo assim, alvos prioritários para a exploração mineral, ou simplesmente variações litológicas. Já o uso da razão urânio/ potássio (**U/K**) em mapeamento geológico se justifica por serem elementos que sofrem uma forte influência de processos intempéricos e concentrações por atividade hidrotermal e/ou magmática, além de serem elementos que se encontram associados (CARVALHO, 1999).

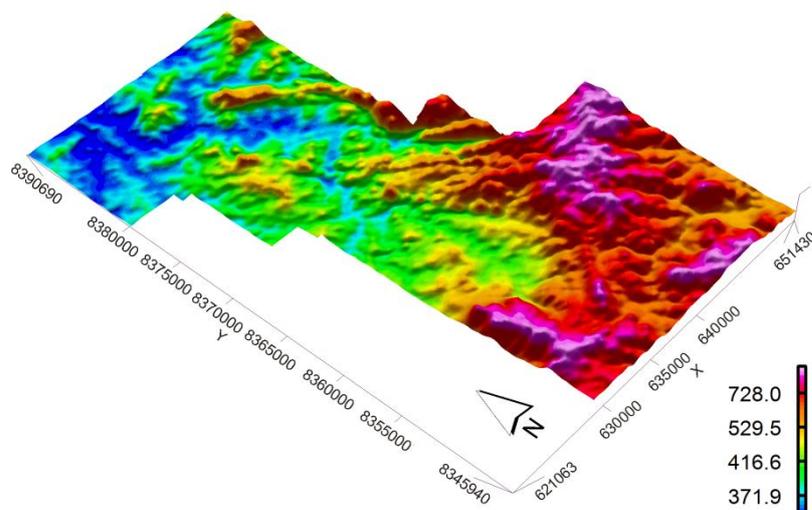
Por fim, a razão urânio/ tório (**U/Th**) é utilizada para determinar a lixiviação de urânio no sistema, devido à alta mobilidade do mesmo em ambientes oxidantes. Porém, razões elevadas podem indicar mineralizações de urânio, sendo assim um ótimo parâmetro para sua definição (CARVALHO, 1999). As imagens da razão U/Th permitem a definição de poucas unidades geológicas, sendo mais útil na determinação de concentrações relativas de um ou outro elemento.

(iv) Das imagens nos canais do potássio, tório e urânio foram confeccionadas *composições ternárias RGB* (*Red, Green e Blue*) e *CMY* (*Cyan, Magenta e Yellow*) a partir de uma interpolação dos dados de origem. As imagens ternárias geradas permitiram observar as variações existentes entre os três elementos (K, Th, U) e a forma como suas concentrações se combinam. No padrão de cores RGB, as interações máximas são representadas pela cor branca e as interações mínimas, pela cor preta. No padrão de cores CMY, por ser um método subtrativo, a maior interação entre as cores origina a cor preta e a menor interação origina a cor branca.

As imagens ternárias se mostraram bons discriminadores geológicos. Com base nelas e nos demais produtos da fase gama, foi possível confeccionar um mapa de domínios gamaespectrométricos, que envolveu a análise dos mapas na composição RGB e CMY, além de análise de composições individuais (**Figuras 3.6a e b**).



**Figuras 3.6.** Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal] sobreposta às imagens (a) RGB e (b) CMY.



**Figura 3.7.** Imagem do modelo digital de elevação do terreno *greenstone belt* de Guarinos em perspectiva 3D com exagero vertical de 2.

#### 3.2.4.1. Potássio Anômalo

Além dos métodos empregados anteriormente, foi aplicada a técnica do potássio anômalo para ajudar na identificação de áreas hidrotermalizadas com expressão na superfície. Esta técnica é baseada na análise de dados de espectrometria dos raios gama, principalmente do potássio, sendo possível avaliar inicialmente a correlação da concentração do potássio com relação à concentração do tório, devido às similaridades no comportamento. Os teores de tório, que estão presentes, são utilizados como controle litológico para definir valores ideais de potássio e urânio. Este método deve ser aplicado em unidades rochosas individualizadas de modo que se possa obter uma homogeneidade na distribuição do potássio em relação ao tório. A normalização do potássio em relação ao tório permite a eliminação do efeito litológico primário e determina as concentrações anômalas do elemento (CARVALHO, 1999).

Para a obtenção do Potássio Anômalo foi seguida uma seqüência de procedimentos baseados em Blum (1999).

1. Foi feita uma suavização das malhas de  $K$  e  $Th$  utilizando a filtragem *Hanning*. Os resultados gerados foram gravados nas malhas “ $Ka$ ” e “ $Tha$ ”;
2. Em seguida, foi-se aplicado os valores médios das malhas geradas “ $Ka$ ” e “ $Tha$ ” na **equação 1**, sendo que a razão entre as malhas é multiplicada pela malha do tório ‘ $Tha$ ’, obtendo assim o valor do potássio ‘ideal’ que será salvo numa ‘malha  $B$ ’;

3. Na **equação 2**, foi subtraída a malha ‘*Ka*’ da ‘malha *B*’, a razão foi dividida pela ‘malha *B*’ obtendo, desta forma, o potássio anômalo.

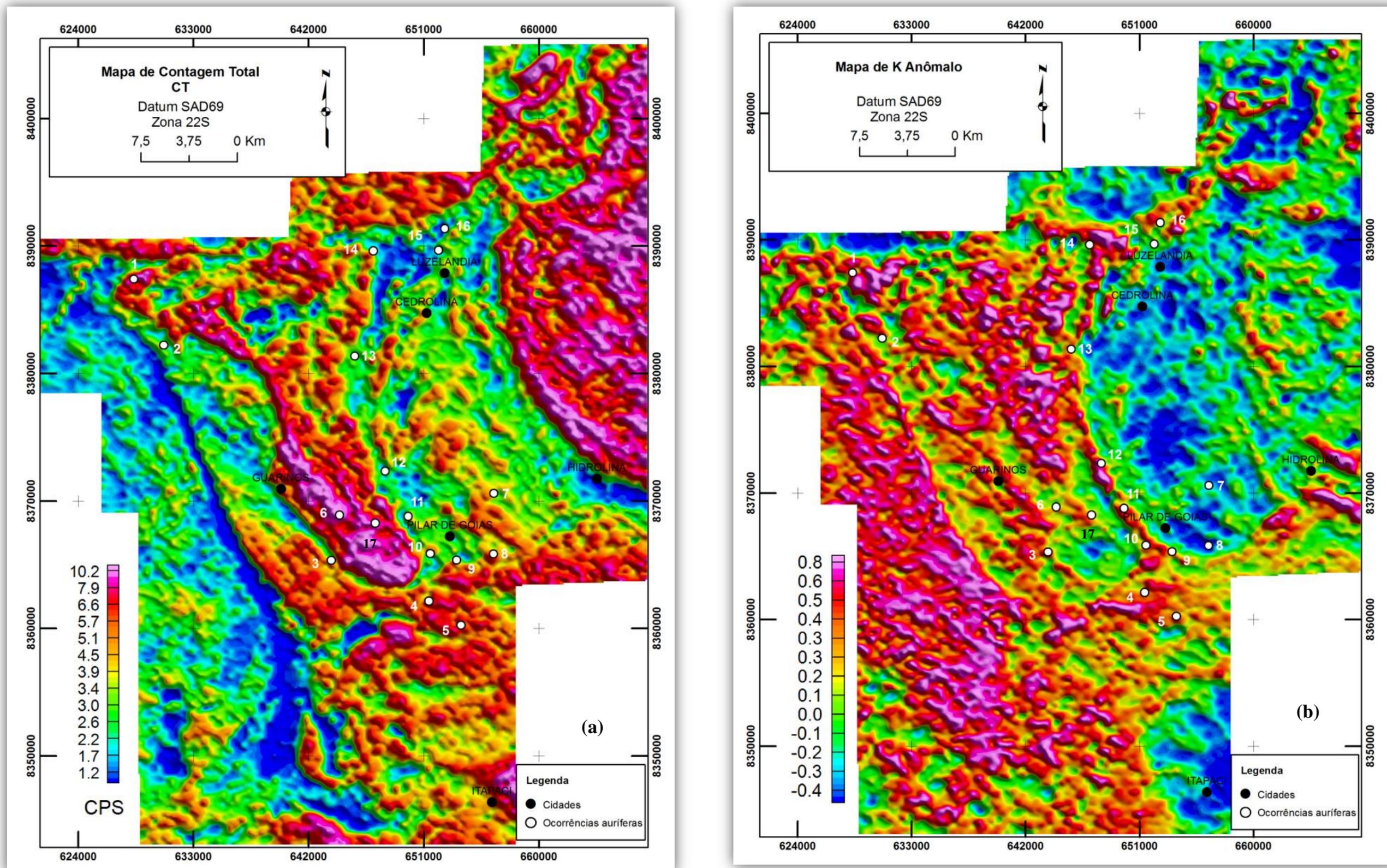
$$K_i = \frac{m(Ka)}{m(Tha)} \cdot Tha \quad \mathbf{1}$$

$$K_D = \frac{Ka - K_i}{K_i} \quad \mathbf{2}$$

Onde:

- *K<sub>i</sub>* é o valor do potássio ideal;
- *m* denota concentração média;
- *Th* é a concentração do tório;
- *K<sub>D</sub>* é o potássio anômalo.

O potássio anômalo foi estimado para toda a área de estudo e adjacências (que abrangeu, também, o *greenstone* de Pilar de Goiás). Na **figura 3.8 b**, observa-se bons resultados sobre as ocorrências minerais nos *greenstones*, onde as ocorrências auríferas de origem hidrotermal se são compatíveis com as anomalias geradas.



**Figuras 3.8.** Ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal] sobreposta às imagens (a) CT e (b) K anômalo.

### 3.3. SENSORIAMENTO REMOTO

As imagens de sensoriamento remoto disponibilizadas e utilizadas para a região do trabalho foram obtidas pelo satélite ALOS, além do modelo digital de elevação do terreno (SRTM), de 30m de resolução espacial.

O tratamento e a visualização de imagens foram realizados por meio dos softwares ArcGIS© 9.3 (ESRI) e ENVI® 4.5 (RSI).

#### 3.3.1 Descrição do Sensor ALOS e suas aplicações

O ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) é um satélite lançado em janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa (Jaxa). Descreve órbita circular com 692 km de altitude com período de revisita de 46 dias. O ALOS está equipado com três sensores imageadores: PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) capaz de adquirir imagens tridimensionais da superfície terrestre; AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) para precisa cobertura terrestre e o PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. As imagens ALOS são fornecidas em diversos níveis de processamento para correções radiométrica e geométrica destinadas a diferentes aplicações. No presente trabalho, foi utilizado o sensor PRISM para a obtenção do detalhamento das feições geológicas lineares a partir de imagens estereoscópica da área de estudo. As especificações técnicas do ALOS estão resumidamente descritos na **tabela 3.2**.

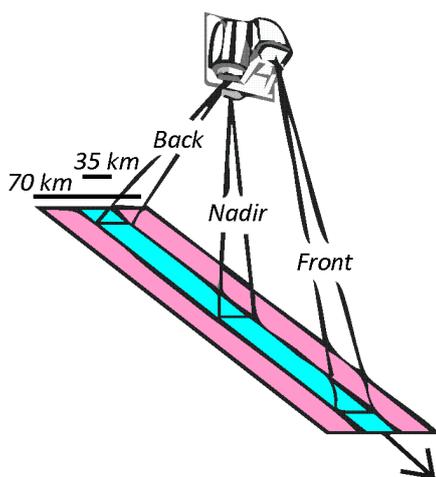
Data de lançamento	24/01/2006
Órbita	Heliossíncrona e circular
Altitude	692 Km
Duração de orbita	99 minutos
Inclinação	98,16°
Horário de passagem	10:30a.m
Período de revisita	45 dias
Sensores	PRISM, AVNIR-2 E PALSAR

**Tabela 3.2.** Especificações técnicas básicas do ALOS (Fonte: NOVATERRA GEO)

As imagens ALOS podem ser adquiridas pelos catálogos do site do IBGE (<http://www.ibge.gov.br/alos/catalogo.php>), apenas para usuários não-comerciais, pelo site da ASF – Alaska *Satellite Facility* (<https://www.asf.alaska.edu/aadn/>) ou diretamente pelo catálogo da Jaxa (extraído do site <https://auig.eoc.jaxa.jp/auigs/top/TOP1000Init.do>).

- **PRISM** (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*)

O sensor PRISM é um radiômetro capaz fornecer imagens pancromáticas com resolução espacial de 2,5m no nadir. Ele é capaz de adquirir imagens para gerar modelos digitais de superfície (MDS) com grande detalhe, possui três sistemas óticos independentes para visualização com as visadas *nadir*, dianteira (*forward*) e traseira (*backward*), produzindo imagens em estereoscopia ao longo da órbita. Cada telescópio é composto por três espelhos e vários detectores CCD, sendo que o telescópio da visada no nadir recobre uma faixa de 70 km enquanto os outros dois recobrem uma faixa de 35 km cada. Os telescópios *forward* e *backward* estão inclinados 24 e -24 do nadir, obtendo assim uma relação base/altura de 1.0, ideais para estereoscopia. Com isso, o campo de visão (FOV) do PRISM é capaz de adquirir três imagens com total cobertura estéreo (*Triplet*) cobrindo 35 km sem qualquer movimentação mecânica ou inclinação do satélite (**Figura 3.9**). As principais características do sensor estão resumidamente descritas na **Tabela 3.3**.



**Figura 3.9.** Arranjo esquemático do sensor PRISM com os sistemas óticos *back*, *nadir* e *front* com largura da faixa imageada de 35 km.

Número de bandas	1 (pancromática)
Comprimento de onda	0.52 to 0.77 micrometros
Telescópios	3 ( <i>Nadir; Forward; Backward</i> )
Relação B/H	1.0 (entre as visadas Forward e Backward)
Resolução espacial	2.5m (no <i>Nadir</i> )
Faixa imageada	70km ( <i>Nadir</i> ) / 35km (Triplet)
S/N	>70
MTF	>0.2
Número de detectores	28000 / <i>band</i> ( <i>Swath Width</i> 70km) 14000 / <i>band</i> ( <i>Swath Width</i> 35km)
Ângulo de apontamento	-1.5 à +1.5 graus
Comprimento de bit	8 bits

**Tabela 3.3.** Características do sensor PRISM (Fonte: NOVATERRA GEO).

Sensor	Resolução Espacial e Largura da Faixa de Imageamento	Características	Utilização
<b>PRISM</b>	Resolução Espacial: 2.5 m Faixa Imageada: 35 km no modo <i>Triplet</i> 70 km no modo nadir Mapeamento na escala 1:25.000	Possui 3 sistemas óticos independentes para imageamento ao nadir, na dianteira e na traseira, produzindo assim um par estereoscópico ao longo da órbita do satélite.	Cartografia, Construção de MNT/DEM para mapeamento, planejamento urbano, agricultura, estudos florestais, estudos costeiros, monitoramento de enchentes, geologia, simulações 3D, etc...
<b>AVNIR-2</b>	Resolução Espacial: 10 m Faixa Imageada: 70 km Mapeamento na escala 1:50.000	Destina-se, principalmente, a observação de terras continentais e áreas litorâneas. Para recobrimento de Municípios, Estados e Países. Possui 4 bandas espectrais ( B-G-R-IR )	Indicado para todas as aplicações temáticas que dizem respeito ao meio ambiente, vegetação, agricultura, recursos renováveis e não renováveis. Muito polivalente, podendo ser visualizado em cores verdadeiras ( 3-2-1 em R-G-B) ou falsas cores ( 4-3-2 em RGB) ou cores naturais simuladas ( 3-4-2 em R-G-B).
<b>PALSAR</b>	Resolução Espacial: 10 m no modo <i>fine</i> 100 m no modo <i>Scan Sar</i> Faixa Imageada: 70 km no modo <i>fine</i> , 250 a 350 km no modo <i>Scan SAR</i> Mapeamento de áreas florestais, em escala 1:100.000 (modo <i>Fine</i> ) e 1:250.000 (modo <i>ScanSAR</i> ).	O PALSAR é um sensor ativo de micro ondas que opera em banda L que pode observar a Terra tanto em modo <i>fine</i> para estudos de precisão como em modo <i>Scan SAR</i> para observar áreas muito maiores.	Indicado para estudos geológicos, interferometria, imageamento em regiões de densa cobertura de nuvens, estudos <i>off-shore</i> , ...

**Tabela 3.4.** Principais características e aplicações dos sensores do satélite ALOS.

### 3.3.2 SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*)

Desde a oferta de dados da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a América do Sul, em meados de 2003, dados topográficos de todo o território nacional estão à disposição da comunidade especializada em sistemas de informação geográfica (SIG). Ao mesmo tempo, as facilidades do trabalho em ambiente digital ajudaram a disseminar a falsa sensação de que os progressos no conhecimento do território passarão a ser imediatos, desde que se tenham dados de elevação e algoritmos de SIG para seu tratamento (**Fonte:** INPE).

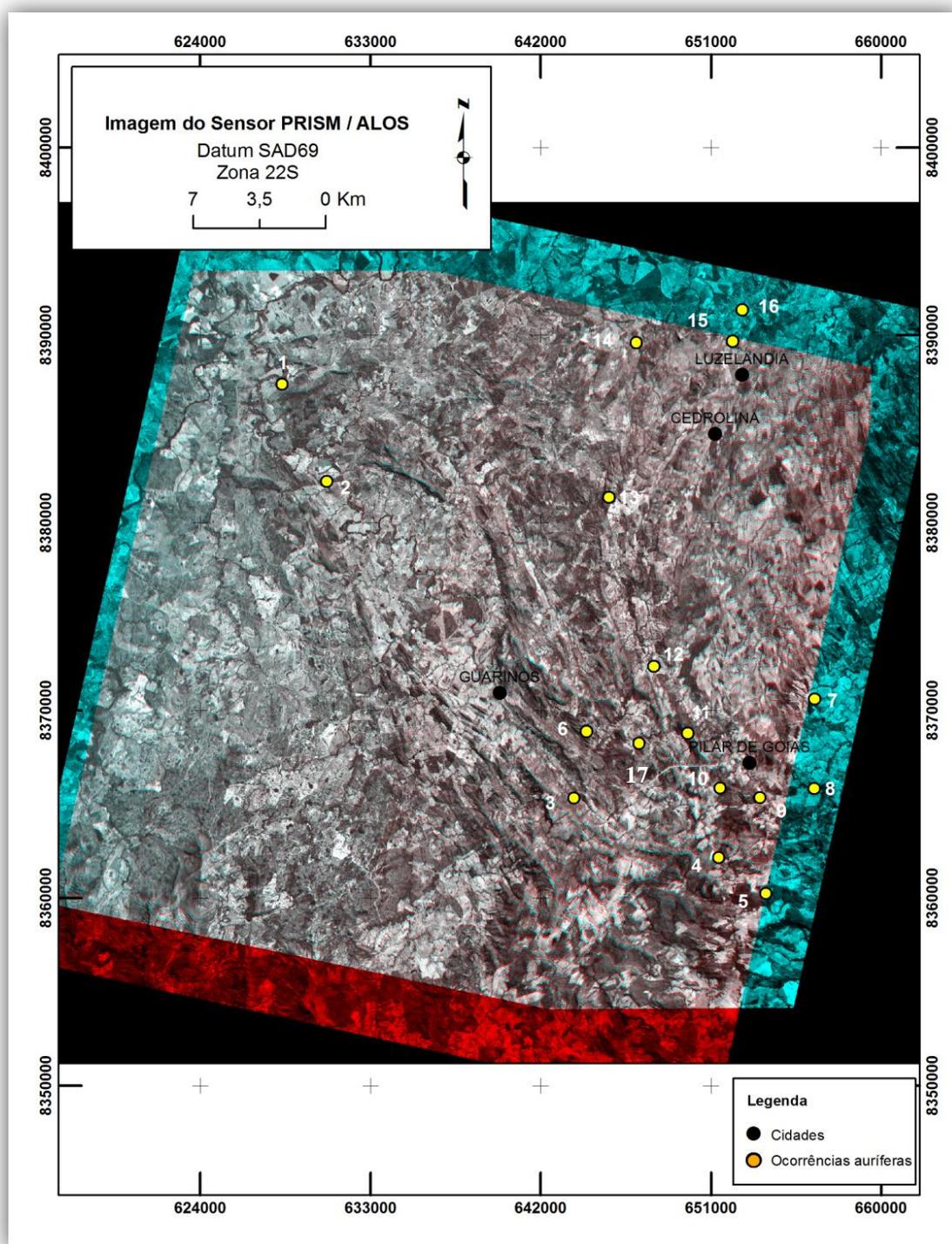
Os dados SRTM representam parte da solução desse problema devido à sua cobertura por todo o continente sob condições uniformes de aquisição e pré-processamento (**Fonte:** INPE).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir dos dados altimétricos obtidos pela missão SRTM, levantamento esse realizado pelo ônibus espacial *Endeavour*, pertencente à NASA, fornecendo dados altimétricos com precisão de 30 m. O SRTM é um projeto internacional liderado pela agência nacional de Inteligência Geoespacial (NGA) e pela NASA. Os dados de elevação global disponíveis tiveram a sua resolução espacial reamostrada para 1 segundo de arco, que equivale a cerca de 30 m no Equador e resolução radiométrica de 16 bit. Este modelo digital de elevação visou trabalhar com a planimetria de forma não convencional, gerando um vasto conhecimento sobre a conformidade do relevo em estudo.

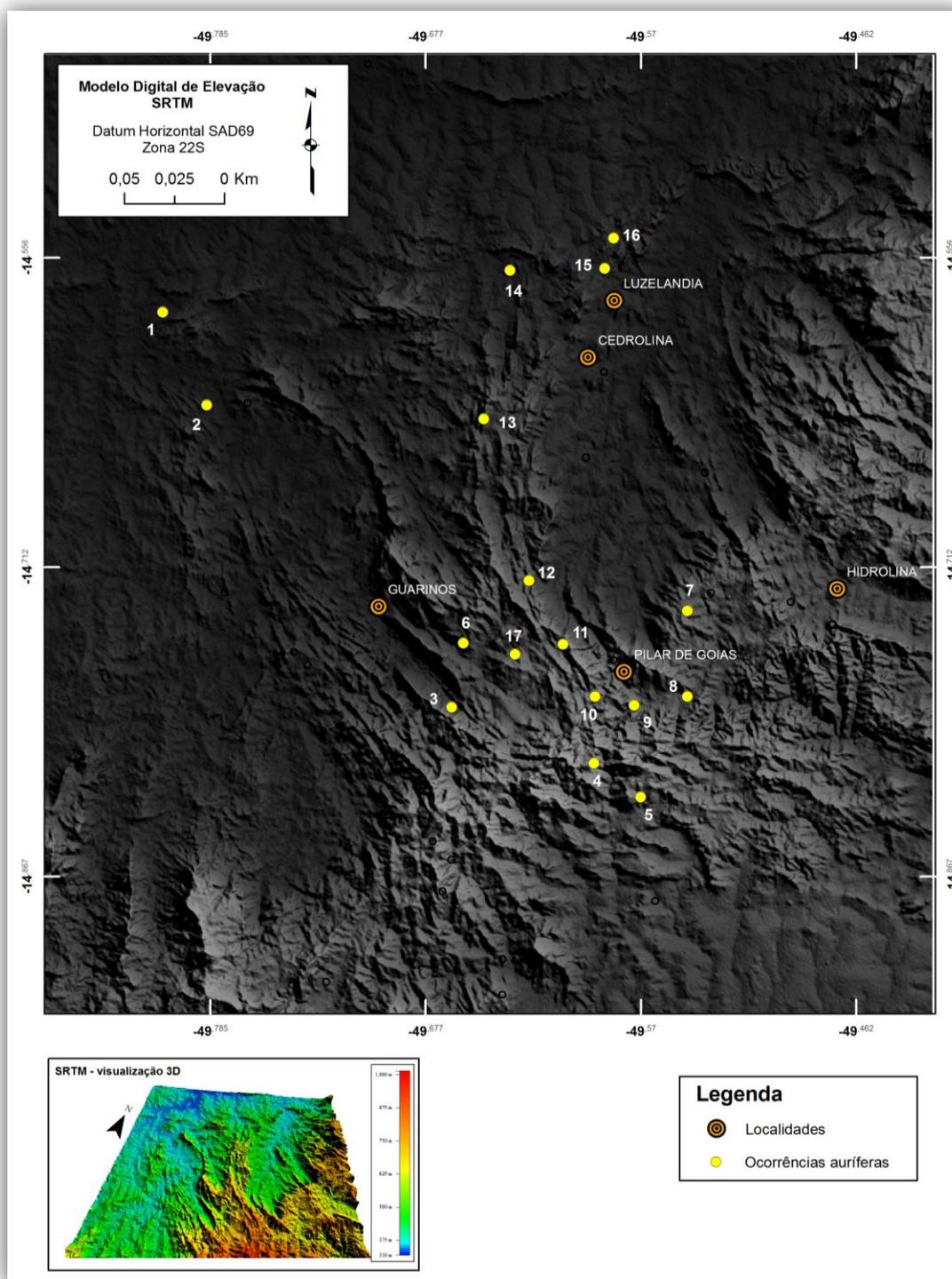
### 3.3.3. Processamento dos Dados

Com relação ao sensor PRISM, primeiramente foi realizado um georeferenciamento de imagens e usado o sistema de projeção cartográfica UTM. Em seguida, foi feito um anaglifo utilizando o programa de processamento de imagens ENVI® 4.5 (RSI) por meio da composição RGB, associando as imagens com composição *Nadir* (para vermelho) – *front* (para verde) – *front* (para azul) para se obter a imagem estereoscópica. A imagem PRISM em estereoscopia possibilita a extração de dados variados, como drenagens, estradas, construções, represas e açudes, áreas de pastagem, áreas de reserva florestal etc, além de quebras topográficas positivas e negativas e, principalmente, a extração lineamentos tectônicos presentes na imagem. As análises estereoscópicas foram realizadas utilizando óculos de visualização 3D, com um anaglifo em escala 1:50.000, que consiste de uma imagem composta pela sobreposição de duas imagens em camadas de cores distintas com um certo deslocamento entre si (**Figura 3.10**).

Do modelo de elevação do Terreno pertencente à missão SRTM, foi gerado um modelo em perspectiva 3D de onde se conseguiu extrair informações com boa precisão, tais como a rede de drenagens e os lineamentos estruturais presentes, além das curvas de níveis. A principal vantagem da utilização de imagens de radar (SRTM) deve-se ao fato de não serem obstruídas por cobertura de nuvens. Além da possibilidade de aplicação em diferentes comprimentos de onda permite descrever características estruturais (**Figura 3.11**).



**Figura 3.10.** Imagem ALOS do sensor PRISM do *greenstone belt* de Guarinos e Bloco Moquém com ocorrências auríferas sobrepostas. Nota-se as principais ocorrências auríferas sobrepostas a imagem [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].



**Figura 3.11.** Modelo Digital de Elevação (SRTM) com as principais ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].

## CAPÍTULO 4

---

### INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS

#### 4.1. Apresentação

Neste capítulo são apresentados os principais resultados bem como as discussões em torno do processamento, interpretação e integração dos dados referente ao *greenstone belt* de Guarinos. A interpretação das imagens foi efetuada no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

#### 4.2. Resultados e Discussões

A utilização de imagens de sensores radar é de suma importância na aplicação geológica, em especial à mineração. A possibilidade de aquisição de imagens com diferentes ângulos de visada permite uma melhor interpretação da área e inclusive, a identificação de diferentes corpos que podem ou não estar mineralizados. As fusões de imagens de sensores de radar com dados aerogeofísicos, também, são bastante úteis para uma mais abrangente e mais detalhada interpretação das informações de uma área minerária.

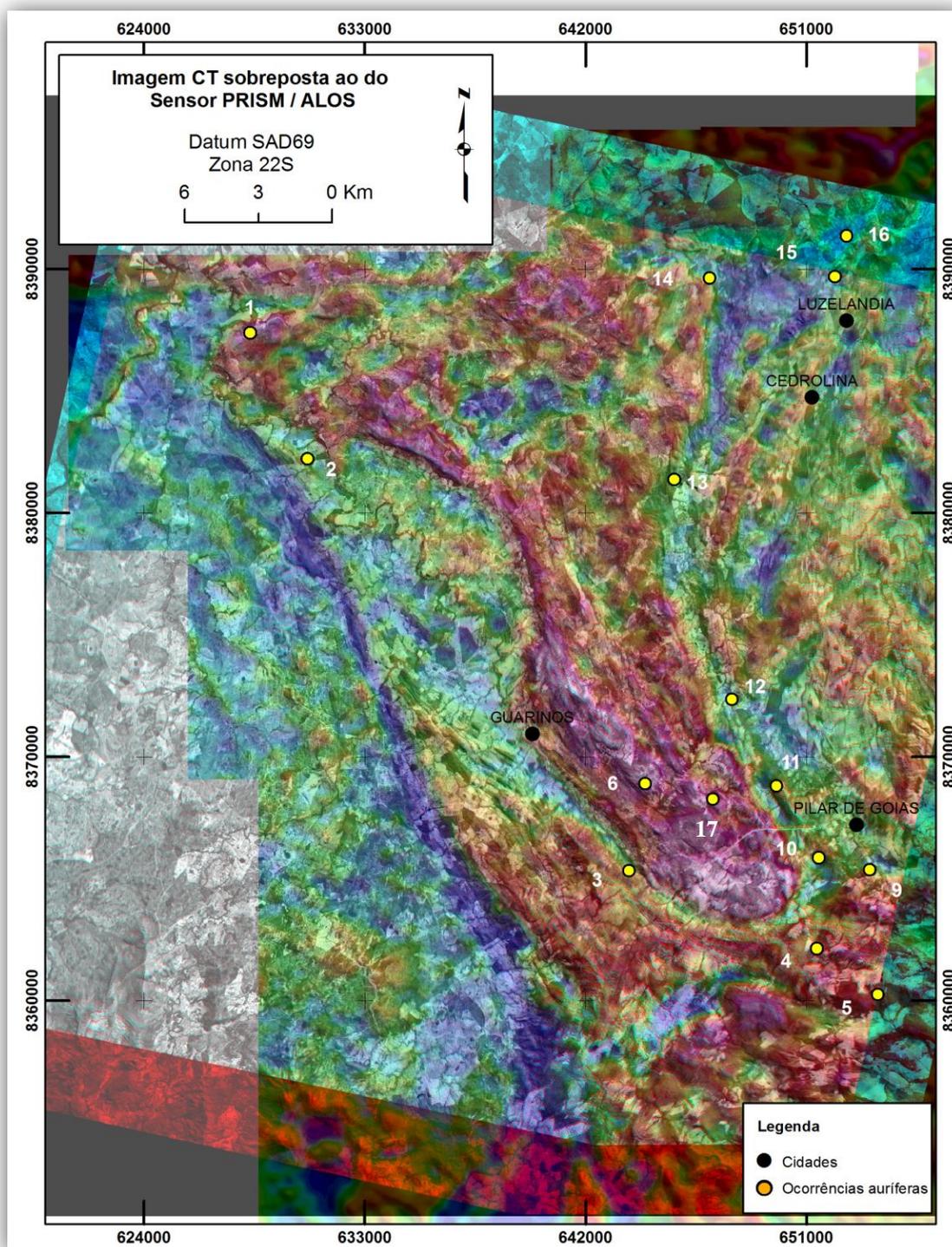
As imagens de alta resolução do satélite ALOS (sensor PRISM), bem como os dados do Modelo de Elevação Digital do Terreno da missão SRTM, são utilizados para este tipo de aplicação, principalmente no que concerne aos mapeamentos geológicos e análise de estruturas tectônicas da área em estudo.

O método interpretativo empregado no trabalho foi o sistemático, seguindo Soares e Fiori (1976) e, posteriormente, Cardoso de Lima (1995). Para a elaboração do mapa geológico, além das feições de relevo e drenagem analisadas na imagem PRISM que são indicativas de estruturas tectônicas e contatos litoestruturais, foram considerados também as respostas radiométricas do canal de contagem total, composições Ternárias (RGB e CMY) além de potássio Anômalo. As feições de relevo e drenagem fornecidas pela imagem ALOS indicam importantes feições estruturais (zonas de cisalhamento).

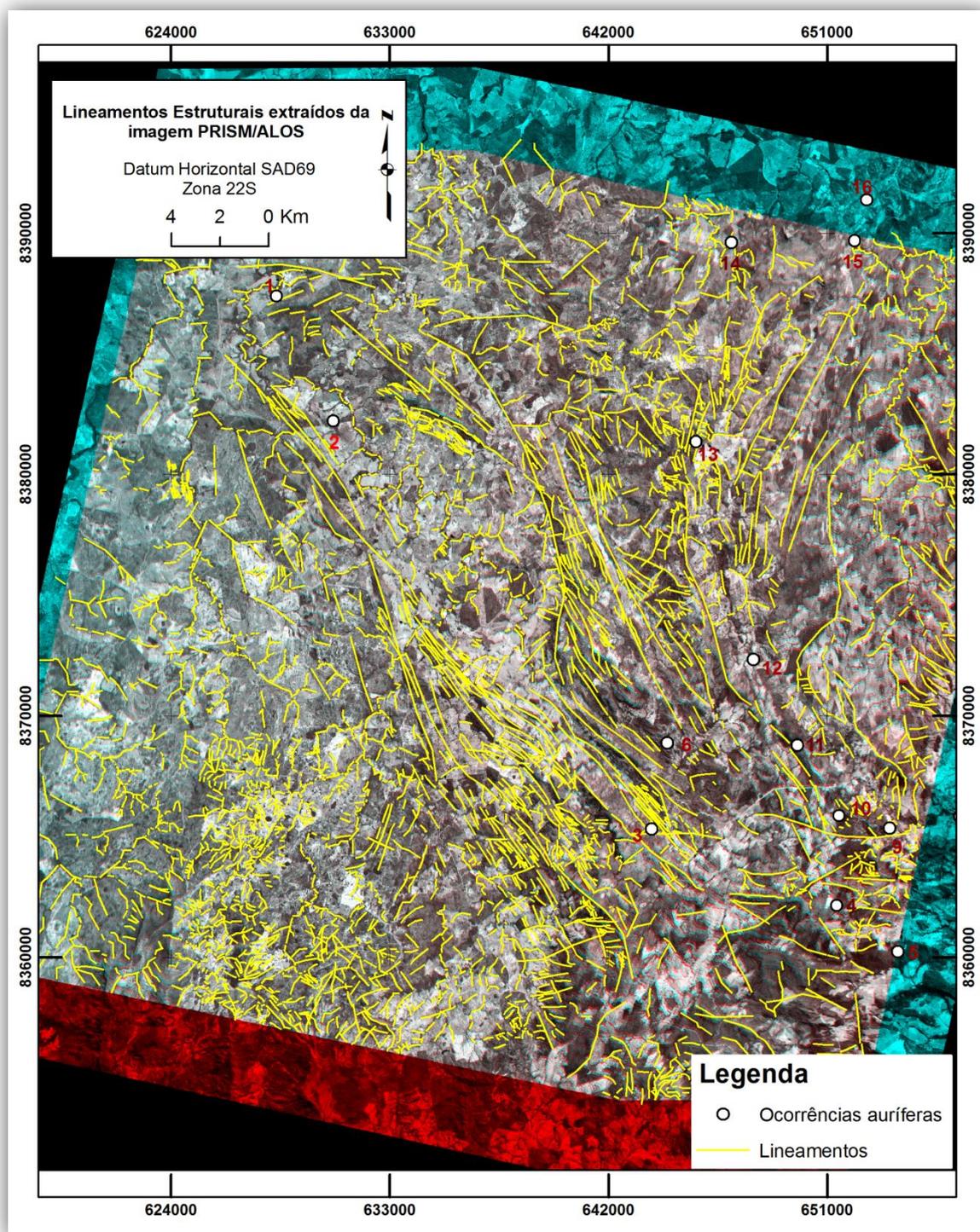
A delimitação das unidades litoestruturais no produto integrado, incluindo os contatos, levou em consideração não somente as respostas gamaespectrométricas mas, principalmente, as feições texturais de relevo e drenagem fornecidas pela imagem ALOS, produto SRTM e, também, informações magnetométricas, tais como ASA, ISA, AGHT e DZ. Foi elaborado um

mapa de domínios gamaespectrométricos, de lineamentos magnéticos e posteriormente, foram discriminados alguns domínios da área de estudo. A **Figura 4.1** apresenta o produto integrado PRISM e contagem total, com as ocorrências auríferas em destaque.

Os resultados obtidos pela interpretação de lineamentos nas imagens PRISM/ALOS (**Figura 4.2**) delimitam de forma mais precisa as principais zonas de cisalhamento transcorrentes ocorrentes no *greenstone belt* de Guarinos.



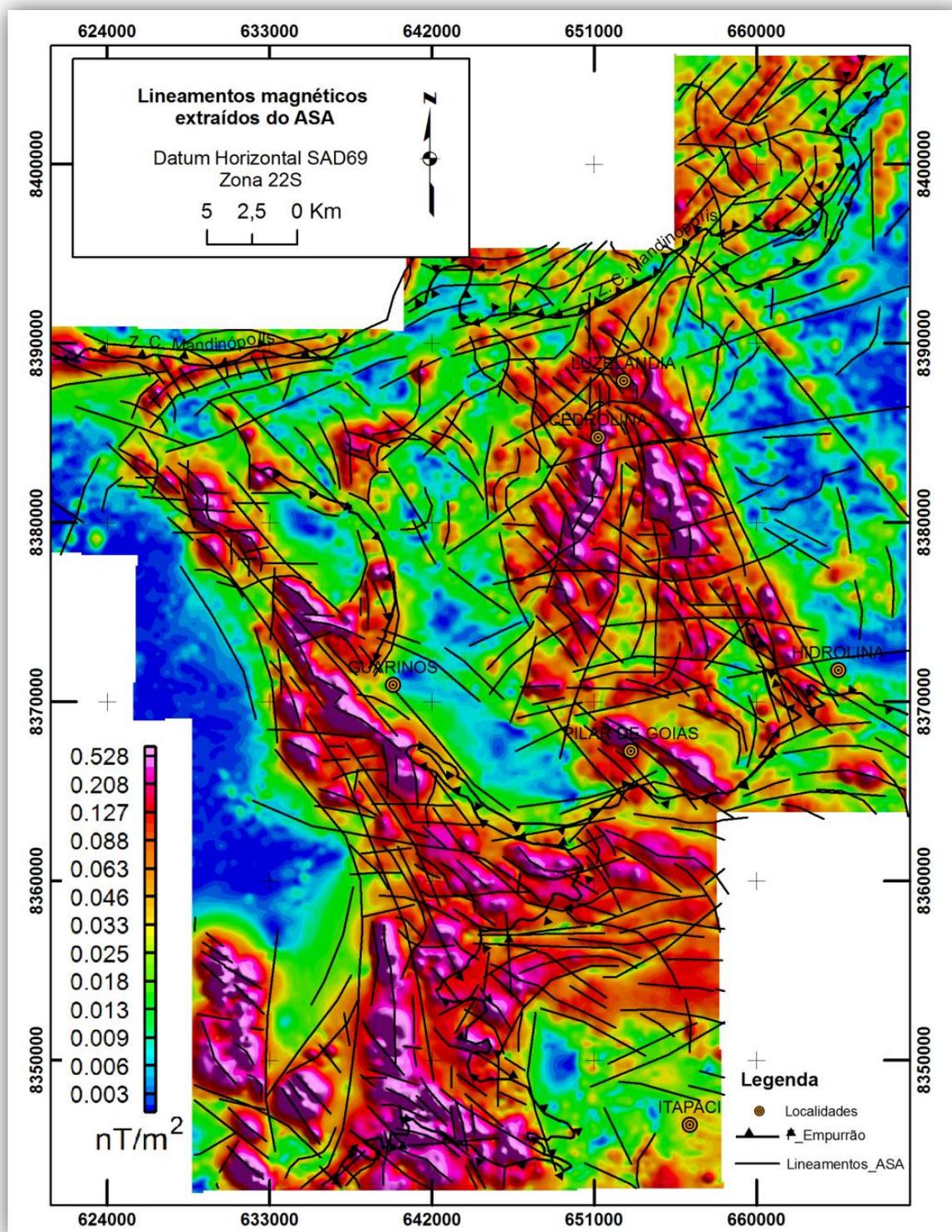
**Figura 4.1.** Produto integrado de Imagem de Contagem Total com a imagem do sensor PRISM (ALOS) do *greenstone belt* de Guarinos e Bloco Moquém com destaque as ocorrências auríferas [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-sáida Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].



**Figura 4.2.** Lineamentos estruturais extraídos da imagem do sensor PRISM (ALOS) do *greenstone belt* de Guarinos e Bloco Moquéim com destaque as ocorrências auríferas [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-sáida Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia].

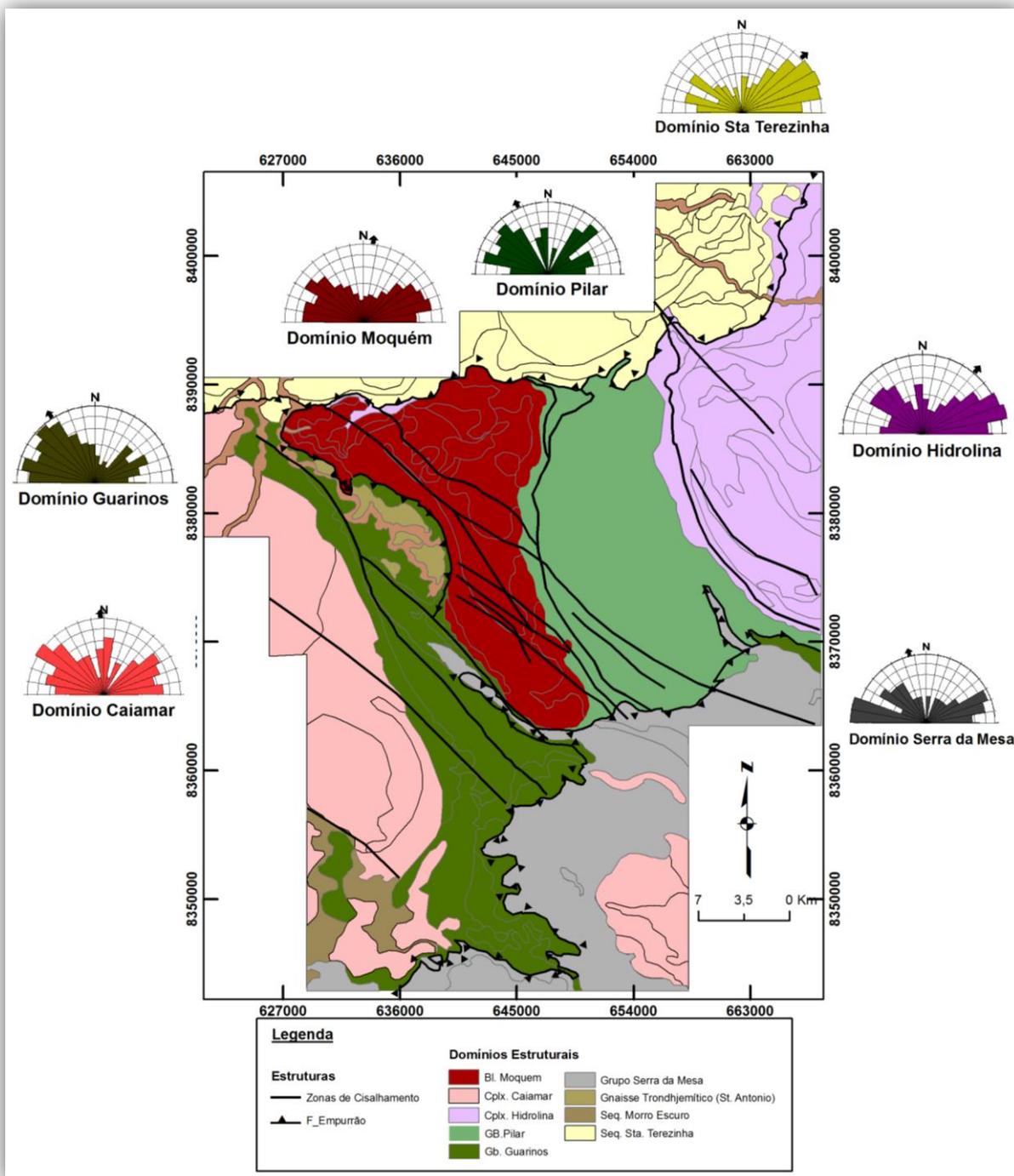
Dos produtos aeromagnetométricos gerados (ASA, ISA, AGHT e Dz), foram extraídas estruturas lineares correspondentes aos lineamentos magnéticos visíveis. Estas extrações foram, posteriormente, sobrepostas a imagem PRISM para se obter um maior detalhe das estruturas. Da imagem ASA, foram extraídos lineamentos que possam representar estruturas regionais, bem como mapear unidades geológicas magnéticas, como rochas ultramáficas e diques ou *stocks* máficos, esperados pelo contexto geológico da área. Do produto AGHT objetivou-se o delineamento de feições estruturais, contatos entre corpos e discontinuidades. Os lineamentos magnéticos extraídos da imagem Dz mostram estruturas mais superficiais com direções preferenciais NE. A inclinação do sinal analítico e o AGHT foram os principais produtos utilizados para visualização dos lineamentos e revelou um complicado arranjo estrutural mapeando as texturas, estruturas e feições lineares do relevo magnético.

Um conjunto de informações de caráter estrutural pode ser nitidamente observado em imagens de sensoriamento remoto e aerogeofísicas. Os dados de sensoriamento remoto são passíveis de identificação de lineamentos dúcteis, dúcteis-rúpteis e rúpteis, diferentemente de dados magnetométricos que tendem a realçar estruturas desde que estas possuam caráter magnético. Os resultados obtidos pela interpretação da aeromagnetometria, ilustrada na **Figura 4.3**, demarcam de forma eficiente as principais zonas de cisalhamento transcorrentes da área de estudo, tais como: Carroça, caracterizada por *trend* contínuo NW-SE (que delimita o *greentstone belt* de Guarinos e Bloco Moquéim), João Leite pelo *trend* NNW-SSE (que delimita o *greenstone belt* de Pilar de Goiás com o Complexo Hidrolina), Três Buracos (presente no *greenstone belt* de Pilar de Goiás). São observadas, também, sistemas de empurrões de grande magnitude, tal como: a de Mandinópolis (que ocorre em toda porção norte da área de trabalho, separando as seqüências proterozóicas das arqueanas), na porção sul (separando seqüências proterozóicas do Serra da Mesa das seqüências arqueanas) e o que ocorre em contato com o Trodhjemito Santo Antônio com o Bloco Moquéim. Estruturas de menor extensão com direção NE-SW, NW-SE além de outras estruturas de direção E-W, também, são bem visíveis nos produtos aeromagnetométricos.



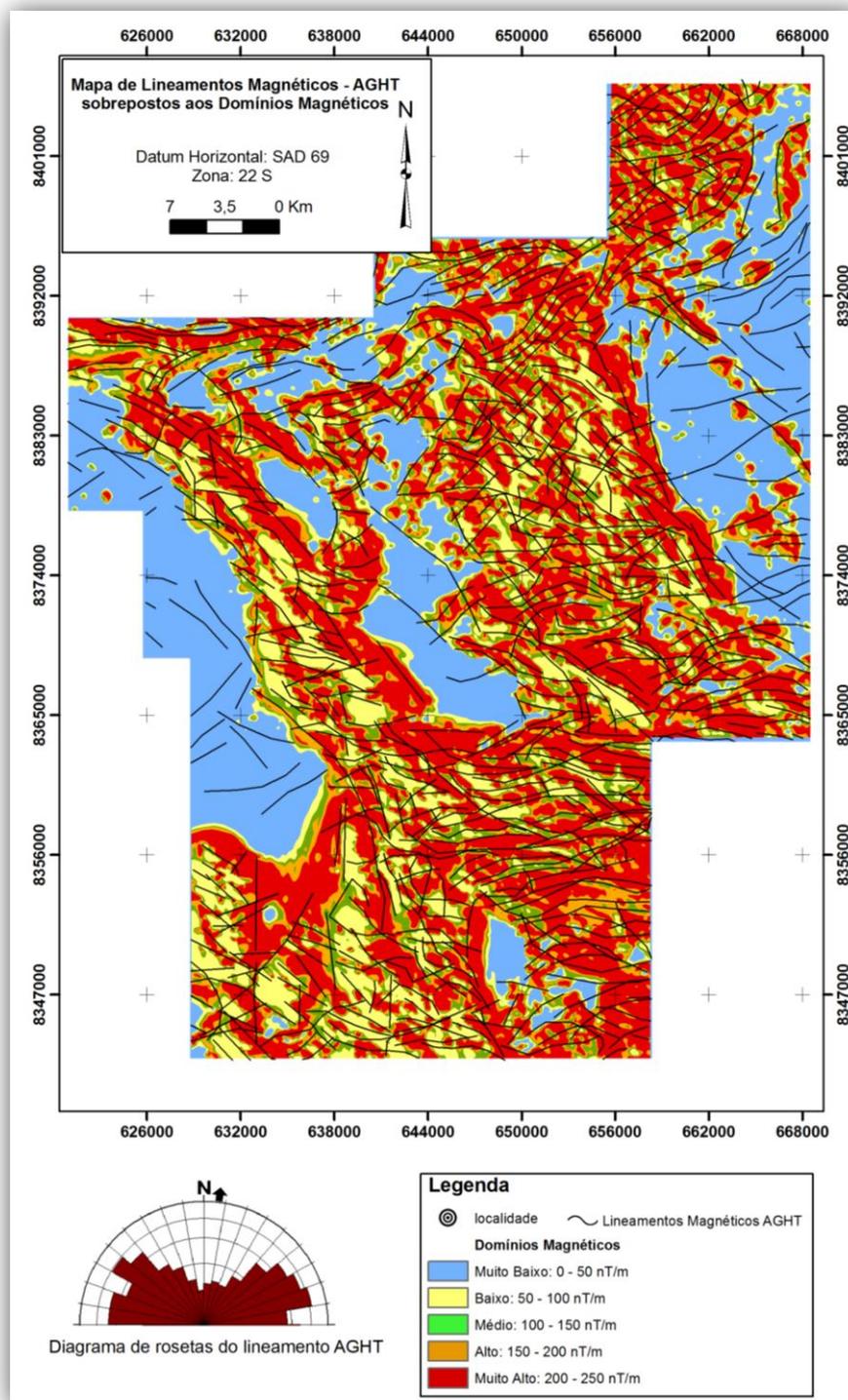
**Figura 4.3.** Lineamentos magnéticos extraídos da imagem ASA sobrepostos a imagem ASA, onde nota-se visivelmente os sistemas de empurrões ao norte e ao sul dos dois *greenstones* arqueanas (Guarinos e Pilar de Goiás), bem como as zonas de cisalhamentos que separam os complexos graníticos (representado por alto U e baixo K) dos *greenstones* (representados pela alta resposta em K e baixo U).

Foram confeccionadas rosetas a fim de quantificar estatisticamente as medidas de lineamentos estruturais obtidos através das imagens aerogeofísicas e de sensores remotos, objetivando identificar a direção estrutural preferencial deles. As rosetas azimutais mostradas na **Figura 4.4**, demonstram mais claramente a existência de uma complexidade estrutural da área de Guarinos e Pilar de Goiás, fato este observado em lineamentos com orientações bem variadas. Similarmente, as estruturas interpretadas na imagem do sensor ALOS, sobreposta aos produtos de AGHT, ASA, Dz e ISA, realçam os padrões estruturais acima mencionados. Estas feições estruturais também foram bem delimitadas no Modelo de Elevação do Terreno.



**Figura 4.4.** Mapa de domínios estruturais simplificado, elaborado para demonstrar as diferentes orientações preferências dos esforços tectônicos.

A partir da imagem ASA, foi gerado um mapa de domínios magnéticos com base na técnica de reclassificação em cinco classes de intervalos iguais (0-50 nT/m; 50-100nT/m; 100-150nT/m; 150-200nT/m; 200-250nT/m). A classificação de imagens é o processo de associar os pixels de uma imagem em um número de classes que representem os padrões, realçando as formas e texturas de modo a facilitar a interpretação. As classes geradas neste processamento espectral correspondem a relevos magnéticos que vão desde muito suaves (cor azul) até muito alto e acidentado (cor vermelha) (**Figura 4.5**).

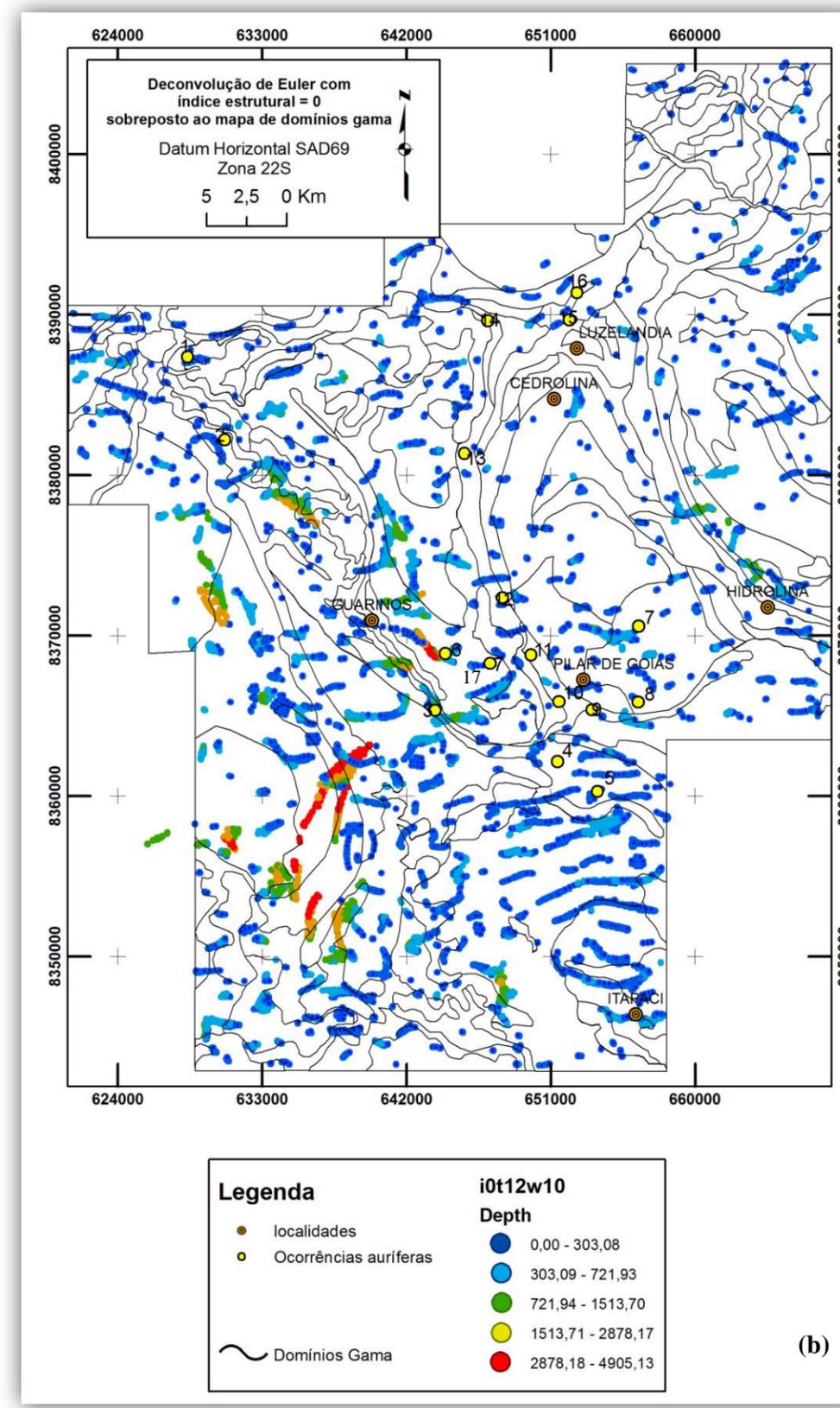
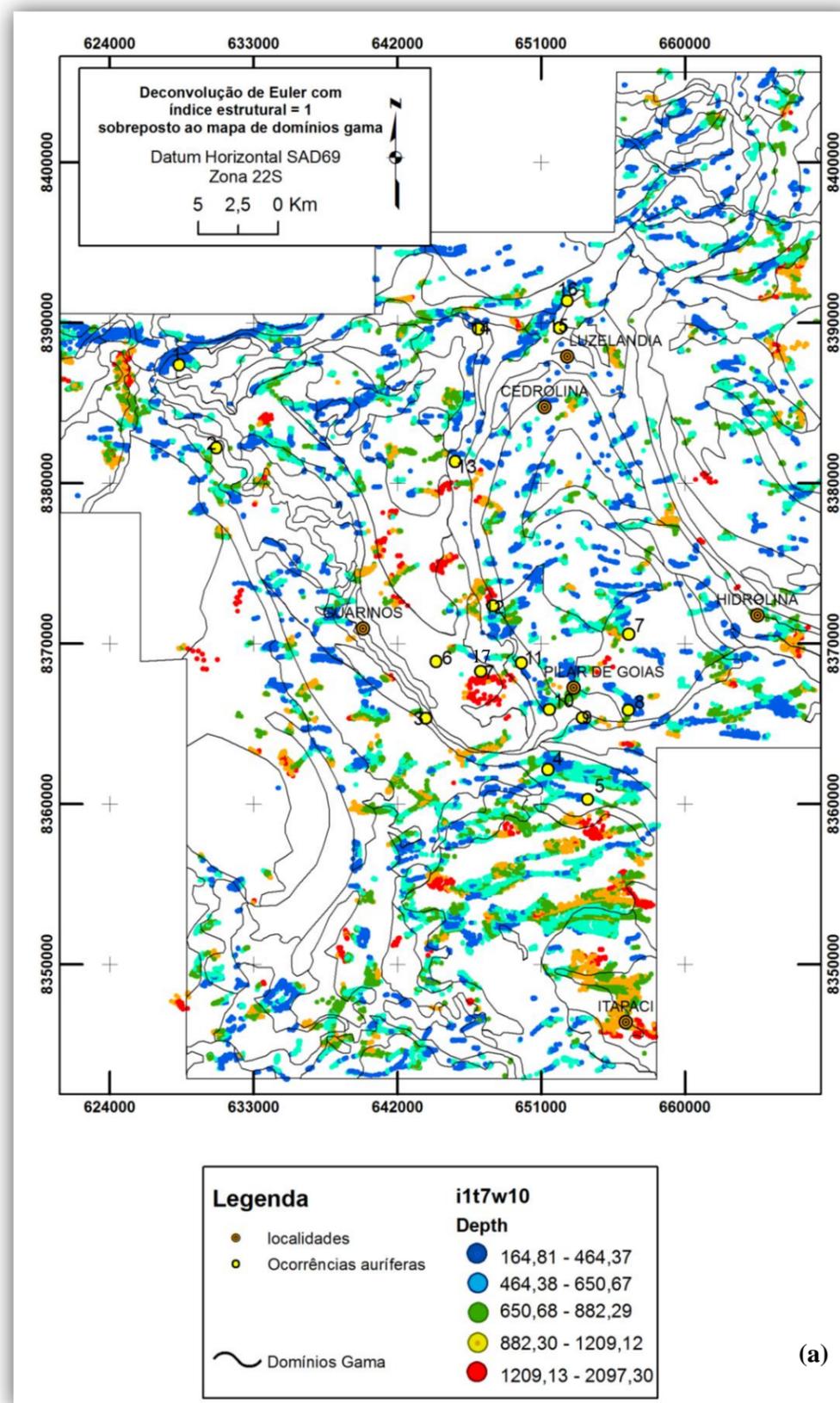


**Figura 4.5.** Mapa de domínios magnéticos gerados a partir da imagem ASA, demonstrando os altos e baixos valores magnéticos, com os lineamentos magnéticos extraídos do AGHT sobreposto.

Com o objetivo de compreender o comportamento das estruturas litotectônicas da área, foi realizado o processo de deconvolução de Euler. Através solução de Euler, foi obtido um bom resultado utilizando índice estrutural igual a 1 (**Figura 4.6a**). Foi calculada a profundidade dos corpos usando tolerâncias de 5, 7 e 10% para o *greenstone belt* de Guarinos. A tolerância escolhida visou limitar a grande quantidade de ocorrências geradas pelas células menores e ampliar o número de ocorrências calculadas pelas células maiores. As estimativas de profundidades foram classificadas em cinco classes usando de distribuição igual área. Através do resultado do Euler, observou-se que as estruturas de índice 1 (que corresponde aos diques e/ou *sill*) da área são predominantemente rasas com profundidades em torno de 164 – 882m, e são bem marcadas, principalmente, na porção sul e norte onde ocorrem eventos proterozóicos.

As feições estruturais interpretadas através dos dados magnetométricos indicam que grande parte dos lineamentos apresenta coerência com possíveis diques, ressaltado pelo mapa da amplitude do sinal analítico.

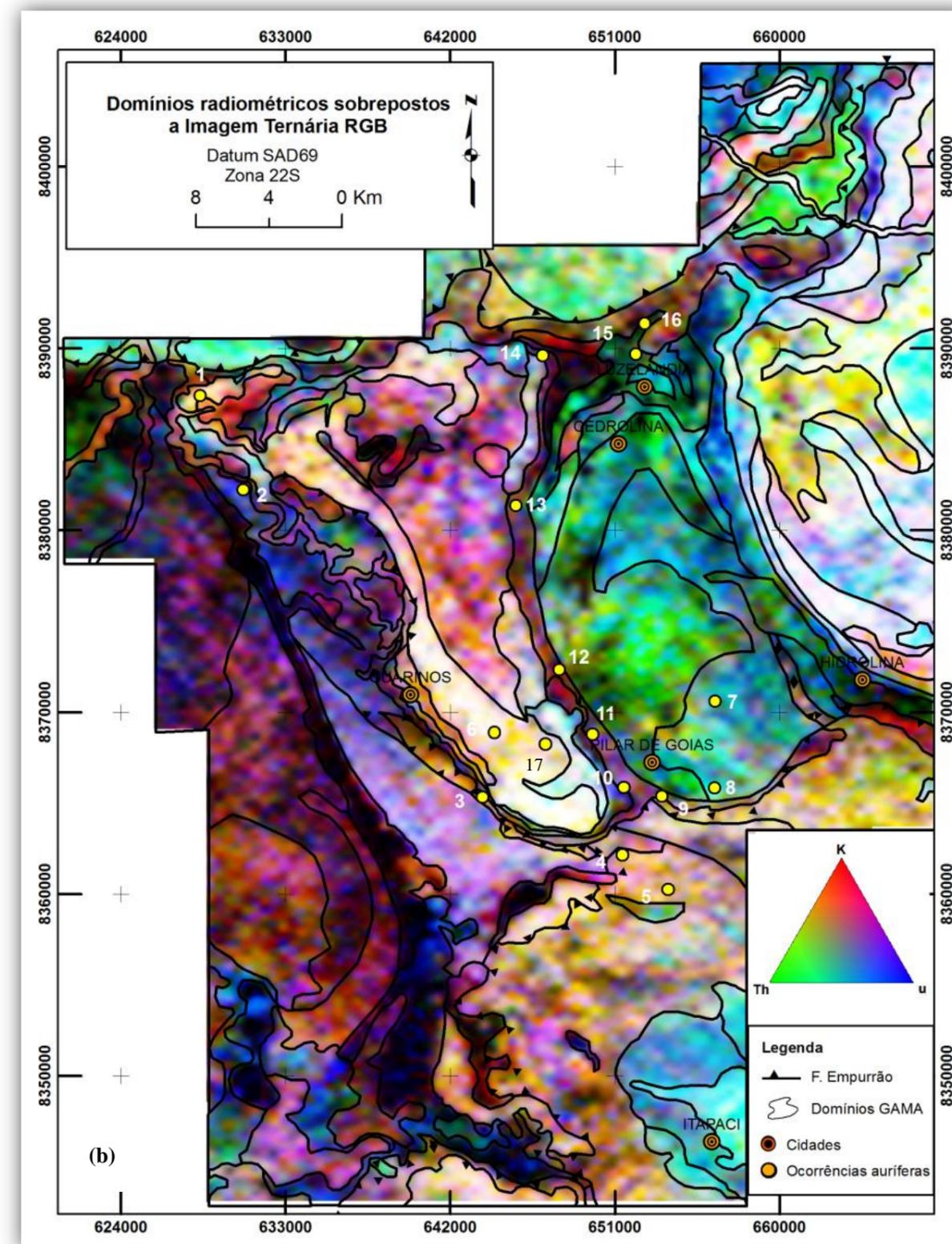
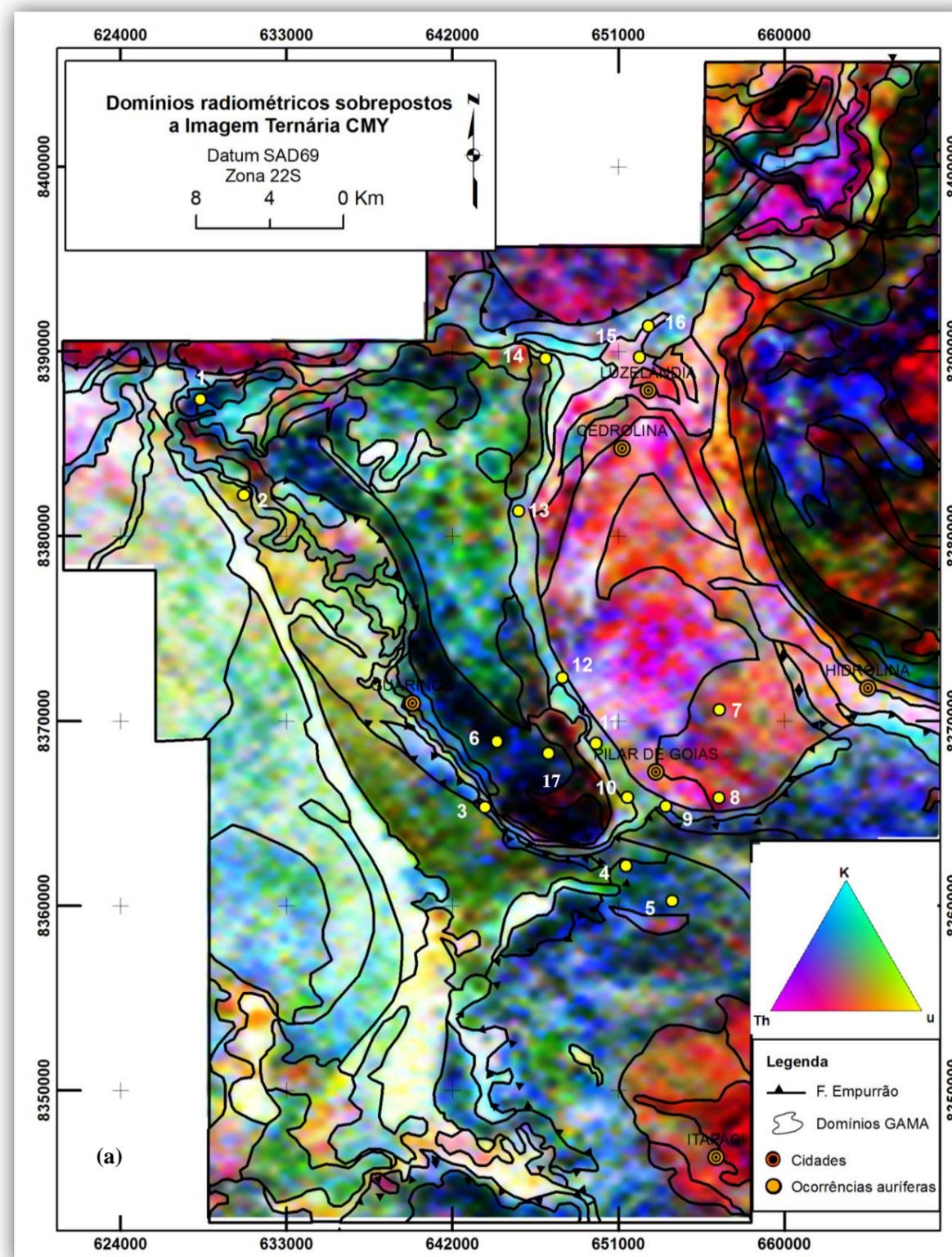
A deconvolução de índice igual a 0 (**Figura 4.6b**) foi utilizada para correlacionar com as unidades geológicas da área.



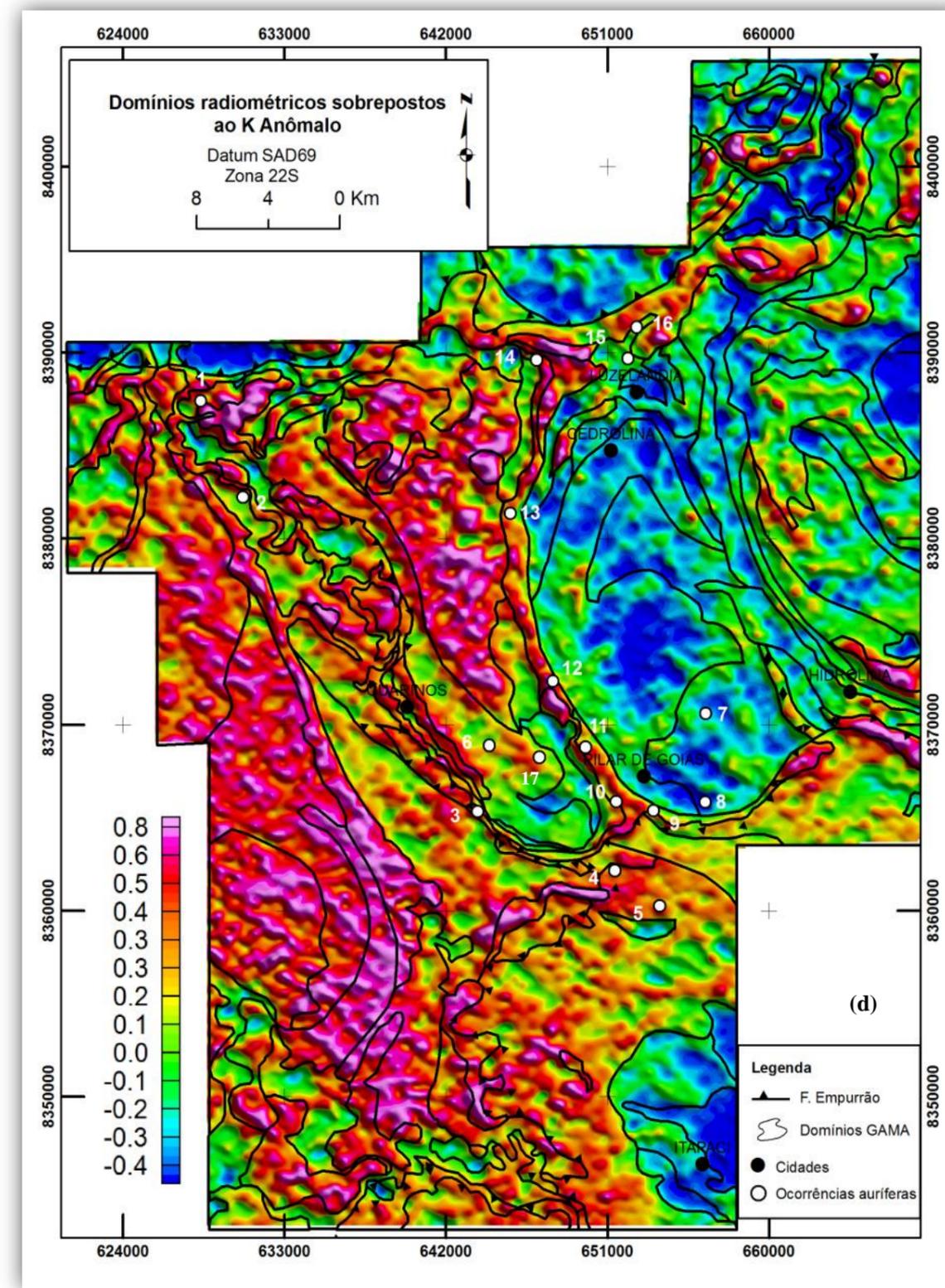
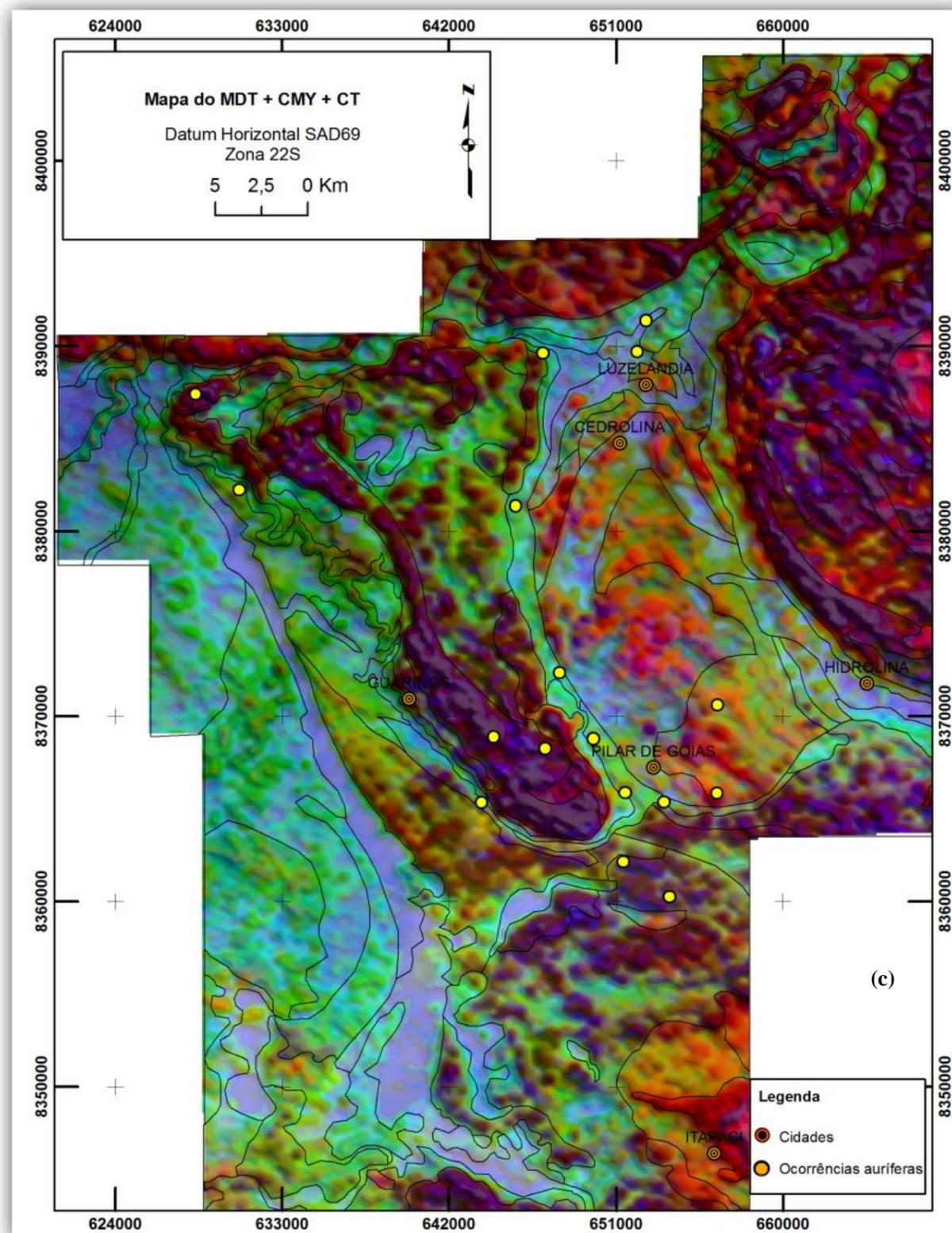
Figuras 4.6. Deconvolução de euler com (a) índice estrutural 1, tolerância 7 e janela 10; e (b) índice estrutural 0, tolerância 12 e janela 10.

O procedimento utilizado para a interpretação qualitativa dos resultados gamaespectrométricos, envolveu: **(i)** uso de composições de imagens ternárias do tipo RGB e CMY, juntamente com a Contagem Total, para definir unidades e/ou domínios com assinaturas gamaespectrométricas semelhantes; **(ii)** uso de Contagem Total, usando ou não o modelo digital do terreno em seu estudo espacial, no auxílio das delimitações de unidades e/ou domínios com assinaturas gamaespectrométricas semelhantes. O Contagem Total apresenta uma maior precisão estatística fornecendo uma correlação maior das unidades radiométricas com as litologias, além de apresentar resultados mais eficientes na discriminação das unidades litológicas; **(iii)** uso das razões U/Th, Th/K e U/K na análise da sua correlação com os diversos domínios gamaespectrométricos, além de melhor identificação e detalhamento desses domínios, e com as regiões onde estão mapeadas as mineralizações na região; **(iv)** a comparação da imagem de cada canal (K, Th, e U) com o modelo digital de elevação para estudar a influência do relevo sobre estes dados; Por fim, houve uma integração de informações com a sobreposição dos eventuais domínios gamaespectrométricos extraídos com a imagem do sensor PRISM/ALOS, dando assim uma melhor confiabilidade e precisão no traçado dos contatos. As **figuras 4.7a, b, c e d** ilustram alguns produtos que foram utilizados na delimitação de assinaturas gamaespectrométricas semelhantes para a elaboração de um mapa litogeofísico.

O potássio anômalo foi estimado para toda área de estudo e foi comparado ao mapa de domínios a fim de ressaltar e correlacionar as anomalias com as unidades geológicas (**Figura 4.7d**). Nota-se que todos os domínios que representam as rochas metabasálticas, formação ferrífera e coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (como apresentada no *greenstone* de Pilar e na Seqüência Santa Terezinha) apresentam valores baixos assim como a unidade Granodiorito Águas Claras (pertencente ao complexo Caiamar). Já as ocorrências auríferas encontram-se nos valores elevados de potássio anômalo.

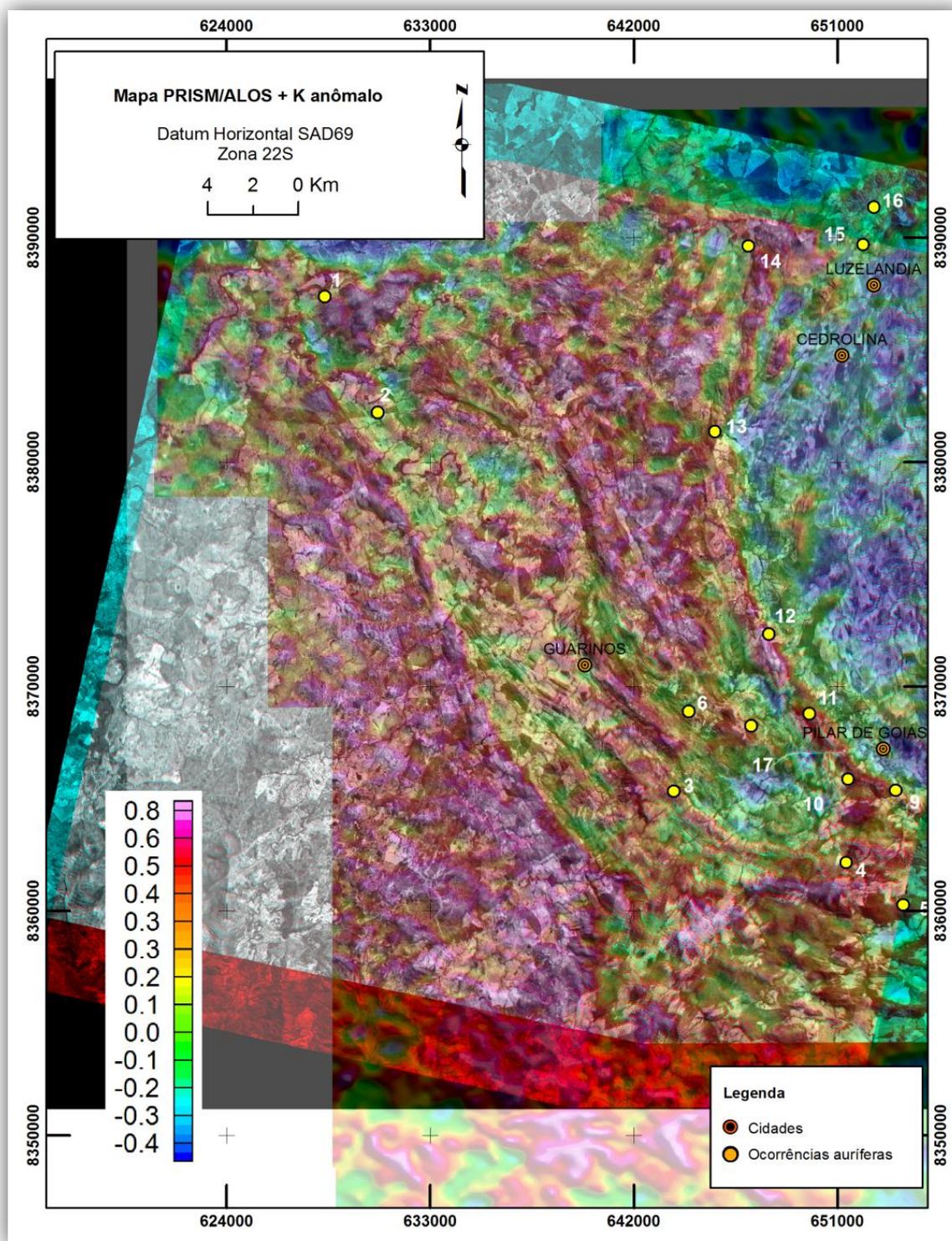


**Figuras 4.7.** Domínios radiométricos sobrepostos aos produtos (a) CMY e (b) RGB. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].



**Figuras 4.7.** Domínios radiométricos sobrepostos aos produtos (c) CT+MDT+CMYe (d) Potássio anômalo. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].

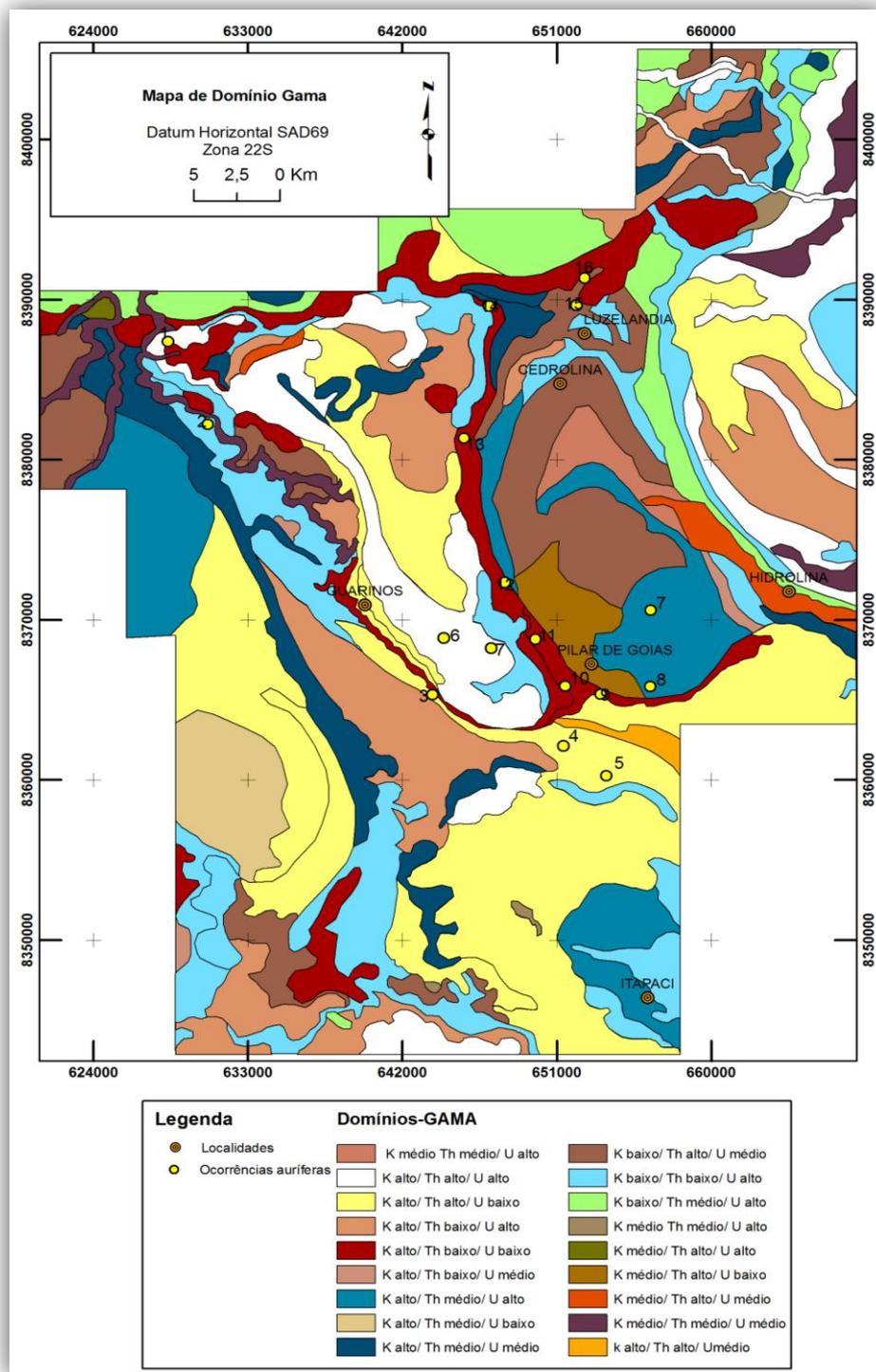
O produto obtido, a partir da interpretação e integração das imagens, permitiu a delimitação de contatos e bordas dos diversos domínios presentes e, ainda, a identificação de novas estruturas. A discriminação de algumas unidades litoestruturais foi possível devido às respostas radiométricas e, em alguns casos, morfologias distintas. Os dados gamaespectrométricos também foram utilizados para correlacionar a topografia com a dispersão de radioelementos através do intemperismo e pedogênese. Isso foi possível pela análise integrada dos dados geofísicos associados aos dados altimétricos do SRTM e principalmente a imagem PRISM/ALOS. Como mencionado no capítulo 3, o mapa de K anômalo foi utilizado na separação de zonas de alteração potássica e outras anomalias relacionadas aos contatos litológicos, pois o tório não possui o mesmo comportamento do potássio em processos hidrotermais. A imagem do K anômalo ilustra a disposição preferencial de altos valores relacionados aos *trends* de ocorrências auríferas (**Figura 4.8**).



**Figura 4.8.** Imagem de K Anômalo sobreposto a imagem PRISM/ALOS. Em destaque as ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].

Quando associadas imagens gamaespectrométricas com dados SRTM e, principalmente imagens PRISM/ALOS, há uma clara evidência da relação entre a assinatura geofísica e a topográfica.

Na interpretação dos dados gamaespectrométricos o esquema de classificação adotado levou em consideração a variação na concentração dos teores de K, Th e U, sendo cada um dos canais dividido em três categorias (alto, médio e baixo), gerando diferentes possibilidades de classificação. Com base nesta metodologia foram definidas 17 grandes unidades gamaespectrométricas para a região estudada (descritas a seguir), que estão representadas no mapa de domínios gamaespectrométricos (**Figura 4.9**).



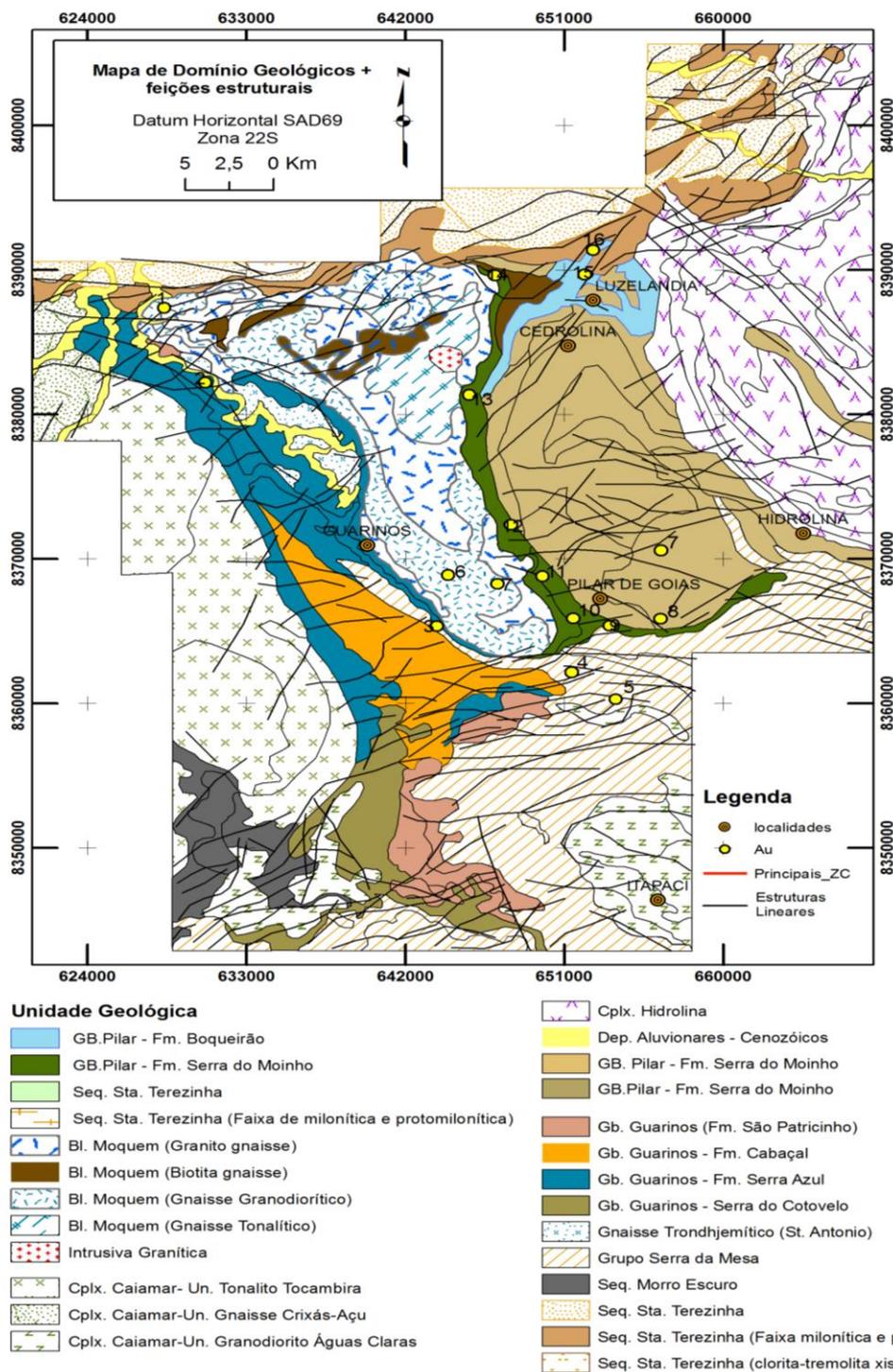
**Figura 4.9.** Mapa de domínios gamaespectrométricos da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].

Dickson & Scott (1997) ressaltam que dentro de um dado tipo de rocha pode existir uma ampla variação das concentrações de radioelementos, o que inviabiliza uma classificação petrográfica. No entanto, diferentes tipos de rochas podem ser identificados com base em suas concentrações relativas.

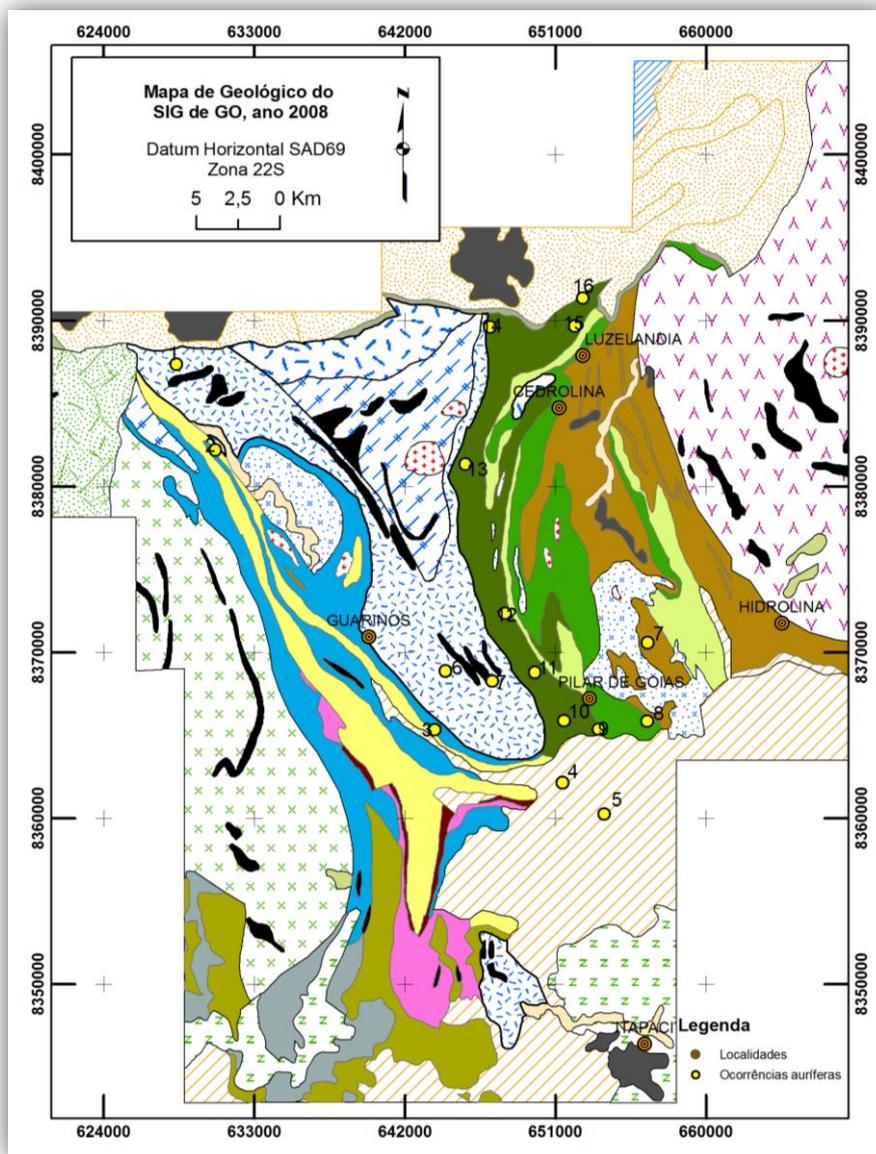
As concentrações de radioelementos variam na área de estudo, pois os maiores teores de radioelementos correspondem a rochas com maiores concentrações de potássio, ao passo que as ocorrências de corpos máficos estão associadas a locais de baixa concentração. As seqüências metassedimentares de Santa Terezinha e Serra da Mesa possuem, respectivamente, assinaturas caracterizadas por elevadas concentrações de Th com pontos localizados de alto U, e por elevadas concentrações de Th e K com ínfimas concentrações de U. As rochas metassedimentares químicas, representadas predominantemente por formações ferríferas e por filitos carbonosos, apresentam os teores mais elevados em urânio, isto é observado na faixa Guarinos onde está bem expressivo na porção sul do *greenstone*.

As rochas ácidas concentram os maiores teores de urânio, já os granodioritos e os tonalitos do Complexo Caiamar e o trondhjemitó Santo Antônio possuem médios teores de urânio e potássio. A formação Serra do Moinho, pertencente ao *greenstone* de Pilar de Goiás e onde se encontra o *trend* com as principais ocorrências auríferas, possui uma assinatura de alto potássio e baixo tório bastante visível na imagem do K anômalo.

De modo geral, o produto final gerado nesse trabalho apresenta boa correspondência com as unidades geológicas. Portanto, é apresentado a seguir (**figura 4.10**) um mapa de domínios radiométricos + feições estruturais principais identificados e correlacionados com as respectivas unidades geológicas das áreas mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM que estão presentes no SIG de Goiás 2008 (**figura 4.11**).



**Figura 4.10.** Mapa de domínios geológicos + feições estruturais da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].



**LEGENDA**

Grupo Guarinos - Formação Serra Azul	Complexo Hidrolina	Intrusivas graníticas
Grupo Guarinos - Formação Serra do Cotovelo	Complexo Moquérm - Gnaiss Granodiorítico	Gnaiss tonalítico
Grupo Guarinos - Formação Aimbé	Complexo Moquérm - Granito-gnaiss	Rochas metamórficas - metaultramáficas
Grupo Guarinos - Formação Cabaçal	Complexo Moquérm - Gnaiss Trondhjemítico	Suite Posselândia - Anfibólito
Grupo Guarinos - Formação São Patricinho	Complexo Moquérm - Gnaiss Tonalítica	Grupo Serra da Mesa
Grupo Pilar de Goiás - Formação Serra do Moinho	Complexo Caiamar - Unidade Granodiorito Águas Claras	Sequência Morro Escuro
Grupo Pilar de Goiás - Formação Cedrolina	Complexo Caiamar - Unidade Gnaiss Crixás-Açu	Depósitos aluvionares
Grupo Pilar de Goiás - Formação Córrego Fundo	Complexo Caiamar - Unidade Tonalito Tocambira	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas
Grupo Pilar de Goiás - Formação Boqueirão		Sequência metavulcanossedimentar Santa Terezinha de Goiás

**Figura 4.11.** Mapa geológico, segundo a SIG-GO (2008), da região de Guarinos e Pilar de Goiás com a sobreposição das ocorrências auríferas primárias [(1) garimpo José Candido; (2) Caiamar; (3) Maria Lázara; (4) garimpo do Carlão; (5) garimpo Joaquim Isidoro; (6) garimpo do Jair; (7) garimpo Pilar de Goiás-saída Hidrolina; (8) garimpo Pilar de Goiás; (9) depósito Jordino; (10) depósito de Cachoeira do Ogó; (11) depósito Toti-Três Buracos; (12) garimpo Fazenda Moinho; (13) Morro do Tenente; (14) garimpo Morro da Cacunda; (15) garimpo Luzelândia; (16) garimpo Luzelândia; (17) garimpo Natal].

A partir da análise integrada dos dados de campo e do mapa litogeofísico previamente elaborado, procurou-se separar as unidades geológicas com base em suas características geofísicas.

Nas imagens aerogeofísicas sobrepostas ao modelo SRTM nota-se uma extensa faixa composta por quartizitos micáceos, quartzo xisto, muscovita xistos, quartzo xistos próximo a Zona de Cisalhamento Mandinópolis no extremo norte da área. Entre a Zona de Cisalhamento Três Buracos entre o *greenstone* de Pilar e o leste do Bloco Moqué, uma extensa faixa com assinatura semelhante da encontrada próxima a Zona de Cisalhamento Mandinópolis é composta por biotita gnaisse, sericita quartzito, quartzo-clorita xisto. Esta mesma faixa aparenta circundar o sul do Bloco Moqué até o sudeste do *greenstone* de Guarinos, próximo de onde se encontra o depósito de Maria Lázara.

Segundo Dantas *et al.* (2007) o bloco arqueano serviu de anteparo para a propagação das *nappes* de NW para SE, desviando o fluxo deformacional para EW. De acordo com Sordi (2007), os milonitos sin-empurrão formados em condições de fácies anfíbolitos, são dobrados, transpostos e deformados em condições de fácies xisto-verde nas zonas transcorrentes. Essa presença de milonitos de alta e baixa temperatura indica reativações e reaparecimento em zonas de cisalhamento.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES, DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos produtos gerados após o processamento, interpretação e integração dos dados, conclui-se que:

Quanto ao método,

- A integração digital dos dados mostrou-se excelente para o mapeamento geológico e de detalhe dos *greenstones belts* de Guarinos e Pilar de Goiás. O produto integrado final delimitou bem as feições texturais de relevo, drenagens, bem como, as feições estruturais mais marcantes da área;
- O uso das imagens da missão SRTM somadas às imagens em estereoscopia geradas do sensor PRISM/ALOS, mostraram-se ótimas nos estudos das feições de relevo possibilitando, desta maneira, uma avaliação mais crítica na análise das feições estruturais presentes na área, bem como um melhor auxílio na delimitação das unidades geológicas e uma melhor compreensão sobre o comportamento dessas unidades. O uso de imagem em estereoscopia permitiu uma visão geral de toda a área em múltiplas escalas até 1:20.000;
- Quanto a aerogeofísica, as imagens aerogamaespectrométricas foram de grande valia para o mapeamento geológico. Dentre os produtos gerados, a composição ternária (RGB e CMY) permitiu uma melhor distinção entre os grandes domínios identificados, já uma integração de imagens MDT + CMY + contagem total permitiu obter uma boa distinção dos limites dos corpos;
- As concentrações relativas de radioelementos variam conforme o previsto na área de estudo, ou seja, maiores teores de radioelementos correspondem a rochas com maiores concentrações de sílica, ao passo que as ocorrências de corpos máficos estão associadas a sítios de baixa concentração;

Quanto à geologia,

- A unidade metapsamo-pelítica do Grupo Serra da Mesa localizada na porção sul apresenta assinatura caracterizada por altas concentrações de potássio e tório, com pontos localizados de alto teor de urânio. As elevadas concentrações de potássio podem estar relacionadas a intrusões de álcali-granitos registradas na base da seqüência. Ao contrário da seqüência metavulcanossedimentar Santa Terezinha que apresenta assinatura com elevadas

concentrações de tório e ínfimas concentrações de urânio, assim como o *greenstone belt* de Pilar de Goiás como um todo;

- As técnicas de processamento aerogamaespectrométricas utilizadas (em especial potássio anômalo e ternários) na avaliação de alterações hidrotermais foram úteis relacionando áreas anômalas como guias prospectivos para exploração mineral regional, sendo possível obter uma visão geral sobre a relação das zonas hidrotermalizadas e as ocorrências auríferas;

- As imagens gamaespectrométricas deram boas respostas, permitindo a realização de uma interpretação ainda mais completa e melhor definição dos domínios radiométricos. Já com os produtos aeromagnetométricos, foi possível observar as diversas feições estruturais, desde as mais rasas (utilizando a primeira derivada vertical - Dz) até as mais profundas (como por exemplo: amplitude do gradiente horizontal total – AGHT, amplitude do sinal analítico – ASA e inclinação do sinal analítico - ISA), feições estas que foram ressaltadas utilizando a deconvolução de Euler com índices estruturais iguais a 1, para diques e/ ou *sills*, e 0 (zero) para contatos geológicos. Dessa maneira, os contatos geológicos não foram apenas definidos nas respostas radiométricas, mas de uma maneira conjunta com diversas informações extraídas através da aeromagnetometria, bem como de informações texturais extraídas pelas imagens de sensoriamento remoto;

- O produto final gerado por essa dissertação é mais aproximadamente comparável ao mapa geológico produzido por LACERDA (1996) do que, necessariamente, ao SIG de Goiás (2008);

- Apesar da integração dos dados ter se mostrado bastante eficiente no mapeamento geológico se fez necessário verificar a influência de vegetação, topografia, solo exposto, utilizando análises quantitativas das respostas radiométricas, para que a geologia não fosse interpretada erroneamente. A resposta radiométrica de contagem total está diretamente relacionada com a composição química e mineralógica das rochas. Nem a presença de atividade antrópica e nem a variação de relevos mascaram o papel controlador da litologia nas respostas gamaespectrométricas;

- Por meio das imagens aeromagnetométricas e aerogamaespectrométricas, foi possível observar feições estruturais importantes presentes na área. Uma das principais feições a que se diz respeito é uma possível extensão das zonas de cisalhamento carroça (Guarinos), onde estão presentes as ocorrências auríferas do depósito Maria Lázara, e engenho velho (Pilar de

Goiás), onde está situado o *trend* mineralizado JOT, por sob o Grupo Serra da Mesa. Porém essa feição não se fez bem nítida usando a deconvolução de Euler;

- O trabalho realizado também permitiu registrar alguns aspectos novos nos terrenos arqueanos, porém o entendimento do conteúdo litológico, estratigráfico e estrutural completo dos mesmos carece de um mapeamento geológico bem mais detalhado. A integração dos dados permitiu definir que os limites da Zona de Cisalhamento Mandinópolis com a Seqüência Santa Terezinha possuem unidades com características até então pouco delimitadas e que abrem novas perspectivas para um melhor entendimento do seu conteúdo e significado tectônico. Esta zona de cisalhamento, descrita por Jost *et al.* (2001) como parte do sistema de falhas Rio dos Bois gerado durante o Brasiliano, é representada por 300m de largura de milonitos e ultramilonitos associados à protomilonitos com atitude média da foliação EW/30°N possuindo caráter de rampa frontal com transporte das rochas proterozóicas para sudeste sobre os terrenos arqueanos. Essas faixas de milonitos são bastante visíveis nas imagens de composições ternárias RGB e CMY;

- Em virtude da complexidade geológica do terreno e da escala das estruturas observadas, apenas um levantamento estrutural detalhado permitirá a elaboração de um melhor modelo estrutural bem como um mapeamento geológico para se delimitar de forma mais precisa os contatos litológicos. Porém, cabe ressaltar que apenas utilizando os dados aerogeofísicos, em especial a aeromagnetometria, foi possível a caracterização do padrão estrutural, que permite uma nova contribuição para a compreensão da evolução geológica da região;

- As unidades onde estão presentes as ocorrências auríferas de Maria Lázara (Formação Serra Azul, no *greenstone* de Guarinos) e do *trend* JOT (Formação Serra do Moinho, no *greenstone* de Pilar de Goiás) apresentam respostas radiométricas muito similares, porém ambas as formações possuem composições litológicas distintas, isso se deve a presença de filonitos próximos ao metabasaltos, na Formação Serra Azul, e as metagrauvas, que estão presentes na Formação Serra do Moinho, estarem bem próximas ao contato com os granito-gnaiss e os gnaiss granodiorítico do bloco Moquém. Os filonitos ocorrem, também, na base do Grupo Serra da Mesa. Esses filonitos e metagrauvas mencionados entraram em contato com o bloco Moquém, onde encontram-se altamente influenciados pela ocorrência do hidrotermalismo que atuou nos locais, remobilizando os elementos e, por fim, gerando as ocorrências auríferas já mencionadas. Na porção setentrional da área, ocorre uma resposta

radiométrica similar ao mencionado, porém em uma faixa deformada de milonitos que ocorre próximo a zona de cisalhamento Mandinópolis no limite com a seqüência Santa Terezinha;

***Referências bibliográficas***

---

- ALMEIDA, F.F.M. de. **Nota sobre o Pré-Cambriano na região central de Goiás.** Bol. Paranaense Geoc., n° 26: p.19-22, 1967.
- ARNDT, N.T., TEIXEIRA, N.A., WHITE, W.M. **Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixás greenstone belt.** *Contributions to Mineralogy and Petrology*, n°101: p. 187-197. 1989.
- BARBOSA, V. C. F.; SILVA, J. B. C. **Deconvolução de Euler: passado, presente e futuro - um tutorial.** Rev. Bras. Geof., vol.23, n°.3, São Paulo, July/Sept., 2005.
- BLUM, M.L.B. **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, Universidade de Brasília, 1999, 229p.
- BRITO NEVES, B.B. DE & CORDANI, U.G. **Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic. Precamb. Research**, n° 53: p. 23-40, 1991.
- BRITO NEVES, B.B., CAMPOS NETO, M. C.; FUCK, R.A. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. Episodes**, 22, p.155–166, 1999.
- CAMPOS, D. S. DE. **Mapeamento geológico e estrutural do alvo aurífero Maria Lázara, no Greenstone Belt de Guarinos (Guarinos, GO).** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista Santa Rio Claro: [s.n.], 2007, 52p.
- CARVALHO, M. T. N. **Integração de dados geológicos, geofísicos e geoquímicos aplicada à prospecção de ouro nos Greenstones Belts de Pilar de Goiás e Guarinos, GO.** Instituto de Geociências, dissertação de mestrado, UnB, Brasília, 1999, 190 p.
- CARDOSO DE LIMA, M. I. **Introdução à Interpretação Radargeológica.** Rio de Janeiro: IBGE. 124 p., 1995.
- CORDANI, U.; SATO, K. **Crustal evolution of the South American Plattaform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. Episodes**, n° 22: p. 167-173, 1999.
- DANNI, J.C.M; RIBEIRO, C.C. **Caracterização estratigráfica da seqüência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v.2, p. 582-596, 1978.
- DANTAS, E.L.; ARAÚJO FILHO J.O.; OLIVEIRA, C.G.; FUCK, R.A.; M.M.; PIMENTEL,

- M.F.N.; CHIARINI.O. **O sistema de cisalhamento transcorrente. Porangatu, província Tocantins.** XI SNET, NATAL. Anais P.199-201. 2007.
- DARDENNE, M.A. **The Brasília Fold Belt.** In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A, Campos D. A. (Org.). *Tectonic Evolution of South America.* 1 ed. Rio de Janeiro: Brazil, p. 231-263, 2000.
- DARDENE, M.A.; SCHOBENHAUS, C. (Org). **As faixas dobradas do Neoproterozóico e as coberturas sedimentares correlatas.** In: *Metalogênese do Brasil*, CPRM, Ed. Universidade de Brasília - Brasil, 2001, 392p.
- DICKSON, B.L.; SCOTT, K.M. **Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): p. 187–200, 1997.
- FORTES, P.T.F.O., PIMENTEL, M.M., SANTOS, R.V., JUNGES, S.L. **Sm-Nd studies of the Crixás greenstone belt, Brazil: implications for the age of deposition of the upper sediments and associated Au mineralization.** *Journal of South American Earth Sciences.* 16 (6): p. 503-512, 2003.
- FUCK, R.A. **A faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins.** IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Brasília. Anais. p. 184-187, 1994.
- GUNN, P.J. **Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): p. 105–113, 1997.
- GUNN, P.J; MAIDMENT, D.; MILLIGAN P.R. **Interpreting aeromagnetic data in areas of limited outcrop.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): p. 175–182, 1997.
- HASUI,Y; ALMEIDA, F.F.M. **Geocronologia do centro-oeste brasileiro.** Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 19 (1), p. 5-26, 1970.
- HILDENBRAND, J. D. (Org). **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás, Área 2.** Projeto Arco Magmático de Mara Rosa, Texto técnico. Lasa Engenharia e Prospecções S.A. 151p., 2004.
- HILDENBRAND, J. D. (Org). **Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás, Área5.** Projeto Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás, Texto técnico. Lasa Engenharia e Prospecções S.A. 128p., 2006.

- IBGE, disponível em < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=go> >. Acessado em 03/01/2010.
- INPE, disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acessado em 14/08/2008).
- JOST, H. & OLIVEIRA A.M. **Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás Region, Goiás, central Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 4(3): p. 201-214, 1991.
- JOST H., CARMELO, A.C., MENESES, P.R. **Litologias, relações de contato e estrutura do Bloco Caiamar, Crixás, Goiás.** *In: IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Anais. SBG.* p. 18-20, 1994.
- JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M.; FREITAS, A.L.S.; *et al.* **Geologia da Porção Norte do Greenstone belt de Guarinos, Goiás.** *In: Rev. Bras. de Geoc.* V. 25, n.1, p. 51-60, 1995.
- JOST, H; FIGUEIREDO; A. M. G.; FERREIRA, A.V. **Elementos em traço e a proveniência clástica na transição de ambiente euxênico para turbidítico em metassedimentos do Greenstone belt de Guarinos, Goiás.** *In: V Congresso Brasileiro de Geoquímica. Niterói. Anais em CD-ROM, 1995.*
- JOST, H.; FORTES, P.T.F.O. **Gold deposits and occurrences of the Crixás Goldfield, central Brazil.** *Mineralium Deposit*, 36: p. 358-376, 2001.
- JOST, H.; FUCK, R.A.; BROD, J.A.; *et al.* **Geologia de terrenos Arqueanos e Proterozóicos da região de Crixás – Cedrolina, Goiás.** *Revista Brasileira de Geociências*, 31 (3). p. 315-328, 2001.
- JOST, H.; FUCK, R.A.; DANTAS, E.L.; *et al.* **Geologia e geocronologia do Complexo Uvá, bloco arqueano de Goiás.** *Revista Brasileira de Geociências.* 35 (4):559-572, 2005.
- JOST, H; DUSSIN, I.A.; CHEMALE Jr., F.; *et. al.* **U-Pb and Sm-Nd constraints for the Paleoproterozoic age of the metasedimentary sequences of the Goiás Archean greenstone belts.** *In: VI South American Symposium on Isotope Geology.* San Carlos de Bariloche – Argentina. 4p., 2008.
- JOST, H. **Síntese do conhecimento atual sobre o Bloco Arqueano de Goiás e Problemas em aberto.** Texto preparado para os alunos do TF do IG/UnB.12p., 2008.
- JOST, H. **Evolução crustal e depósitos minerais do Bloco Arqueano de Goiás.** II Simpósio Brasileiro de Metalogenia. Gramado-RS, 2009.
- JUNGES, S.L. **Caracterização geoquímica e isotópica da Faixa Oeste da Sequência Vulcanossedimentar de Mara Rosa.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 120p., 1998.

- JUNGES, S.L., PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., LAUX, J.H. **New ID-TIMS U-Pb ages in the western portion of the Mara Rosa Arc: two hundred million years of arc building.** *In: 4 South American Symposium on Isotope Geology*, Salvador, 2003. *Short Papers*. Salvador, CBPM, IRD, v.1: p. 198-201, 2003.
- KUYUMJIAN, R.M.; JOST, H. **Low- and high-alumina komatiites of Goiás, Central Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*. 20: p. 315-326, 2006
- LACERDA H. **Gold in Central Brazil.** *In: Ladeira E.A. (Ed.). Brazil Gold'91*. Belo Horizonte, Balkema, p. 195-202. 1991.
- LACERDA, H. **Nota explicativa do mapa geológico 1:50.000 da região de Guarinos – Pilar de Goiás (GO)**, Goiânia, DNPM, 1996, 48p. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1601](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1601)> . Acessado em: 16/01/2009.
- LACERDA, H. **Mapa do jazimento de ouro do Estado de Goiás ao milionésimo – Nota Explicativa.** Goiânia: DNPM – 6° distrito, p. 7, 1996. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1601](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1601)> . Acessado em: 16/01/2009.
- LACERDA, H. **Mapa geológico 1:100.000 do greenstone belt de Crixás-Pilar de Goiás.** DNPM/Goiânia, 1997. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1599](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1599)>. Acessado em: 16/01/2009.
- LACERDA FILHO, J. V., REZENDE, A., SILVA, A. **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** CPRM. Brasília, 2000, 184 p.
- LAUX, J. H.; PIMENTEL, M.M.; DANTAS, E.L.; *et al.* **Two neoproterozoic crustal accretion events in the Brasília belt, central Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*. 20: p. 1–16, 2005.
- MARINI, O.J., FUCK, R.A., DANNI, J.C.M., DARDENNE, M. A. **Província Tocantins: Setores Central e Sudeste.** *In: Almeida, F. F. M.; Hasui, Y. (Org.) O Precambriano Brasileiro*. São Paulo: Edgar Blücher, 1984, p. 205-264, 1984.
- MARSHAK S. **Deformation style way back when: thoughts on the contrast between Archean/Paleoproterozoic and contemporary orogens.** *J. Struct. Geol.*, 21: p. 1175-1182, 1999.

- MILLIGAN, P.R.; GUNN, P.J. **Enhancement and presentation of airborne geophysical data.** *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): p. 63–75, 1997.
- MINTY, B.R.S. **Simple micro-leveling for aeromagnetic data.** *Exploration Geophysics*, 22: p. 591-592, 1991.
- MONTALVÃO, R.M.G.; LOPES, L.M.; PEREIRA, L.G.M. **Petrologia dos komatiitos de Crixás-Goiás.** *In: Boletim Informativo, SBG, Núcleo Centro-Oeste*, v.10, p.89-113, 1981.
- MONTALVÃO, R.M.G. **Evolução geotectônica do terrenos granitóide-greenstone belts de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás – Hidrolina (Goiás).** *Doctorate Thesis. USP, São Paulo*, 1985, 372p.
- MOREIRA, M.L.O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. DE; *et al.* (Org). **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal.** Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2008.
- NOVATERRA GEO, disponível em:  
<[http://www.novatergeo.com.br/index.php?system=news&eid=36&news\\_id=7&action=read](http://www.novatergeo.com.br/index.php?system=news&eid=36&news_id=7&action=read)>. Acessado 06/04/2010.
- PIMENTEL, M.M., FUCK, R.A., FISCHER, D.P. **Estudo isotópico Sm-Nd regional da porção central da Faixa Brasília, Goiás: implicações para a idade e origem dos granulitos do Complexo Anápolis-Itauçu e rochas metassedimentares do Grupo Araxá.** *Revista Brasileira de Geociências*. 29(2): p. 271-276, 1999b.
- PIMENTEL, M.M., FUCK, R.A., JOST, H., FERREIRA FILHO, C.F., ARAÚJO, S.M. **The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc.** *In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds). Tectonic Evolution of South America.* Rio de Janeiro, 31 IGC, p.195-229, 2000a.
- PIMENTEL, M.M., JOST H., FUCK, R.A. **O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás.** *In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Org.) Geologia do Continente Sul-Americano, Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo, Beca, p. 355-368, 2004a.
- PIRES A.C.B. **Identificação Geofísica de Áreas de Alteração Hidrotermal, Crixás – Guarinos, Goiás.** *In: Rev. Bras. Geoc.* 25(1):61-68. Brasília, 1995.
- PULZ G.M. **Geologia do Depósito Aurífero Tipo Maria Lázara (Guarinos – Goiás).** Dissertação de Mestrado. UNB, Brasília. p. 139, 1990.

- PULZ, G.M.; JOST H., MICHEL D., GIULIANI G. **The Archean Maria Lázara gold deposit, Goiás, Brazil: exemple of Au-Bi-Te-S metallogeny related to shear zone intruded by synkinematic granitoids.** In: Ladeira E.A. (Ed.). *Brazil Gold'91*, Balkema, p. 385-387, 1991.
- PULZ, G. M. **Modelos Prospectivos para Ouro em *Greenstone belts*: Exemplos dos Depósitos de Maria Lázara e Ogó, na Região de Guarinos e Pilar de Goiás, Go.** Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, UnB. Brasília, 190p., 1995.
- QUEIROZ, C.L.; JOST, H.; MCNAUGHTON, N.J. **U-Pb SHRIMP ages of the Crixás granite-greenstone belt terranes: from Archean to Neoproterozoic.** 7º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Lençóis, Bahia. Salvador, SBG, Anais. p: 35-37, 1999.
- QUEIROZ, C.L. **Evolução tectono-estrutural dos terrenos granito-*greenstone belt* de Crixás, Brasil Central.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2000, 209 p.
- QUEIROZ, C.L.; JOST, H.; SILVA, L.C.; MCNAUGHTON, N. J. **U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of granite-gneiss complexes and implications for the evolution of the Central Brazil Archean Terrain.** *Journal of South American Earth Sciences*. 26: p. 100 – 124, 2008.
- RESENDE, M.G. **Geoquímica e Petrologia da Formação Aimbé, Grupo Guarinos, Goiás.** Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, 1994, 128p.
- RESENDE, M.G.; JOST, H. **Redefinição da Formação Aimbé, *greenstone belt* de Guarinos, Goiás e sua interpretação paleogeográfica e paleotectônica.** Boletim de Geociências do Centro-Oeste, 17 (1/2), p. 49-57, 1994.
- RESENDE, M.G.; JOST, H. **Petrogênese de formações ferríferas e metahidrotermalitos da formação aimbé, grupo guarinos (arqueano), Goiás.** In: Rev. Bras. de Geoc. V. 25, n.1, p 41-50, 1995.
- RESENDE, M.G., JOST, H., LIMA, B.E.M., TEIXEIRA, A.A. **Proveniência e idades modelo Sm/Nd das rochas siliciclásticas arqueanas dos *greenstone belts* de Faina e Santa Rita, Goiás.** Revista Brasileira de Geociências. 29(3): p. 281-290, 1999.
- SABÓIA, L.A. **Os *greenstone belts* de Crixás e Goiás-GO.** In: Bol. Inf., Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo Centro-oeste. V.9, p.43-72, 1979.
- SIBSON, R.H. **Fault structure and mechanics in relation to greenstone gold deposits.** In: F. Robert, P.A. Sheahan, S.B. Green (ed.) *Greenstone gold and crustal evolution*. NUMA Conference Volume, Vai d'Or, 1990, Geological Association of Canada, p. 54-60, 1990.

- SOARES, P. C.; FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.** Noticiário Geomorfológico, [S.l.], v.16, n. 32, p. 107-121, 1976.
- SOARES, M. S. **Processamento e interpretação de dados aerogeofísicos magnetométricos e gamaespectrométricos no estudo do controle das mineralizações auríferas na região do Complexo Bossoroca, São Sepé, RS.** Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia, 2001, 187p.
- SORDI, D. A. **Aerogeofísica Aplicada à compreensão do sistema de empurrões da seqüência Santa Terezinha de Goiás, Brasil Central.** Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília. 2007. 115p.
- TOMAZZOLI, E. R. **Aspectos Geológicos e Petrográficos do Enxame de Diques Morro Agudo de Goiás.** Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília. Tese de Doutorado, 1997. 293p.
- VARGAS M.C. **Geologia das rochas granito-gnáissicas da região de Crixás-Guarinos, Pilar de Goiás e Hidrolina, Goiás.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 1992, 172 p.
- VASCONCELLOS, R.M.; METELO, M.J.; MOTTA , A.C..M; GOMES, R.D. **Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil.** Rio de Janeiro. CPRM, 1994, 165p.
- VIANA M.G., PIMENTEL M.M., WHITEHOUSE M.J., FUCK R.A., MACHADO N. **O arco magmático de Mara Rosa, Goiás: dados geoquímicos e geocronológicos e suas implicações regionais.** Revista Brasileira de Geociências. 25(2): p. 111-123, 1995.