



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PROCESSAMENTO, NIVELAMENTO E INTEGRAÇÃO DE  
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS MAGNETOMÉTRICOS  
NO ESTADO DE MINAS GERAIS E SUA CONTRIBUIÇÃO À  
GEOLOGIA DA PORÇÃO SUL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO**

**MARCELO HENRIQUE LEÃO SANTOS**

**Dissertação de Mestrado N° 210**

**Brasília - DF  
2006**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PROCESSAMENTO, NIVELAMENTO E INTEGRAÇÃO DE  
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS MAGNETOMÉTRICOS NO  
ESTADO DE MINAS GERAIS E SUA CONTRIBUIÇÃO À GEOLOGIA  
DA PORÇÃO SUL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO**

**MARCELO HENRIQUE LEÃO SANTOS**

Dissertação de Mestrado N° 210

Orientador: Augusto César Bittencourt Pires

Co-orientadores: Roberto Alexandre Vitória de Moraes

Claudinei Gouveia de Oliveira

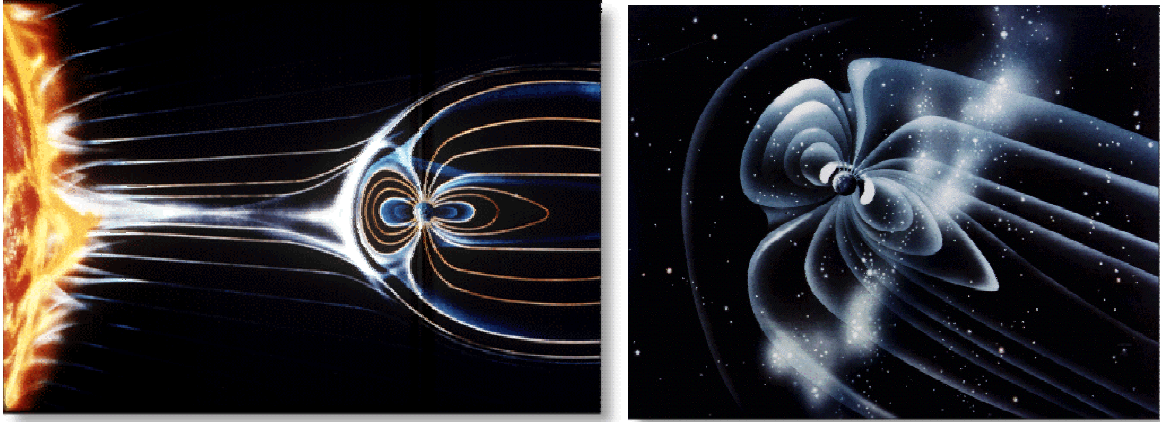
Examinadores: Adalene Moreira Silva

Marcelo de Lawrence Bassay Blum

Brasília - DF  
2006

“À magnífica natureza que nos protege e surpreende”

## MAGNETOSFERA



"A um quilômetro dali havia um morro com grande desbarrancado - a 'barreira', como se dizia no sítio. O Visconde levou-os para lá. Diante da barreira, parou e sorriu. Os meninos entreolharam-se. Não compreendiam que o Visconde encontrasse matéria para sorriso num barranco feio como todos os mais.

- Que gosto é esse Visconde? - perguntou Emília.

- Ah, o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico - o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende. Este barranco é para mim um livro aberto, uma página da história da terra na qual leio mil coisas interessantíssimas.

Os meninos olharam para o barranco e de novo se entreolharam com ar de quem pergunta: estará o Visconde a caçar conosco? "

"- Que engraçado! - exclamou Pedrinho. Agora compreendo o riso do Visconde depois que deu para estudar Geologia. Como tudo se esclarece! Como fica interessante! Aquele barranco e este corte nunca me fizeram vir à cabeça a menor idéia. Agora já me falam coisas, contam pedaços da vida da terra. Que engraçado!....

- Pois é isso, Pedrinho. Para o geólogo, o chão, o barranco, as ravinas, as margens dos rios, os cortes das estradas, tudo são páginas do livro da natureza, onde ele lê mil coisas que jamais passaram pela cabeça dos ignorantes.

- Que gostoso é saber, hein, Narizinho?

- Nem fale, Pedrinho. Cada vez tenho mais dó dos analfabetos."

Monteiro Lobato, "O poço do Visconde".

*À Flávia,  
Felipe, Mateus  
e aos meus pais.*

*cum mente et malleo*



## **AGRADECIMENTOS**

*“Quando trabalhamos em grupo, criamos uma combinação vencedora.”*  
Ken Potrock

Agradeço a todas as instituições, empresas e pessoas que contribuíram para minha formação pessoal, acadêmica e profissional, assim como para o desenvolvimento desta dissertação.

- Primeiramente a Deus pela dádiva da vida;
- A minha querida Flávia e aos meus filhos Felipe e Mateus, razão de toda minha dedicação e da minha vida. A ela pelo amor e eles pela oportunidade de nascer de novo;
- Aos meus pais Moisés e Telma pelo apoio, carinho e vivência passados durante todos estes anos. Aos meus irmãos Maurício e Andréa por todas as experiências incríveis que passamos juntos. A minha avó exemplo de perseverança e amor. E a todos meus familiares;
- Aos Doutores Augusto Pires, Roberto Moraes, Claudinei Gouveia e Adalene Moreira pela arte de ensinar, pela dedicação a este trabalho e pela satisfação destes anos de amizade e convivência;
- Ao Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA e Instituto de Geociências – IG, pela infraestrutura que me foi concedida; e ao Osmar Mendes, braço direito do LGA, que foi muito importante para a concretização deste trabalho;
- Ao Instituto de Geociências e a Universidade de Brasília pelo ambiente acadêmico gratificante durante os 5 anos de graduação e 3 anos de mestrado, aos funcionários e aos professores do IG que participaram da minha educação para que eu chegasse até aqui;
- A todos os amigos da pós-graduação, em especial Marcus Leandro “Ceará 2”, Luciano Costa “Cabelera”, Alexandre Seidel “Toyota”, Carol Joffily, Magno Augusto “Magin”, Andréa Lima, Sandrine, Marcelo “Toiço”, Evandro Cunha, Gabriel Seraphim, Xuxa, Lys, Diogo, Elisa e a Glorinha Obando companheira de infinitas horas no LGA;
- Um agradecimento especial aos amigos “de rocha” que muito contribuíram para este trabalho no Estágio Supervisionado: Bruno Velasco, Italino Barbosa, Leandro Duarte, Luciano Teixeira, Ricardo Moraes e Thiago Silva;

- A toda comunidade geológica com a qual convivi, pela troca de experiências e por transmitirem seus conhecimentos em várias horas de discussões geológicas e geofísicas;
- Aos amigos Gustavo Melo, Heitor Franco, Leandro Guimarães, Cláudia Arantes, Santino, Aline e Rodrigo Franco;
- A empresa HGeo por tudo que me proporcionou, e pela incrível experiência de trabalhar em um ambiente de descontração, profissionalismo e amizade;
- A empresa Água & Terra, dos amigos Léo e Alexandre;
- Aos eternos amigos Edson, Hélio, Fabinho, Fausto, Cristiano Rancan “Dexter”, Thiago “Preto”, Edu, Júlia cunhadinha, Rodrigo cunhado e a todos os outros;
- A galera da GEO por todos esses anos de convivência e companheirismo;
- Aos companheiros da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, César Rocha, Wolnei, Ana Paula, Meneguesso, Assis, Cornélio, Robert, Leandro, Flavio Freitas, PP, Rafael, Pedro Leite, Paula, Beth, Dani, Marta, Maira, Moya, TT, Rigón, Quincas, Cacá, Fernando, Anelise, Ana Carla, Emiliano e todos os demais. Principalmente a equipe de geofísica Cantidiano, Flori, Kiyoshi, Célio Barreira e Feijó. E aos gerentes Noivaldo, Paim e Rabelo;
- A CAPES pela concessão da bolsa no primeiro ano da pós-graduação;
- Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e a Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG), pela cessão e permissão do uso dos dados dos levantamentos aerogeofísicos e geológicos em trabalhos de pesquisa do Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA), Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília (UnB).

## **ABSTRACT**

The main purposes of this master dissertation were directed to processing, leveling and integrate several magnetic airborne geophysical surveys, acquired in State of Minas Gerais. These surveys were correlated with the available geological data to define the magnetic-structural framework of south portion of São Francisco craton.

The data processing consisted in control quality, spatial data distribution evaluation and magnetic field intensity consistency analysis, through the use of the fourth order difference operator applied to flight lines records. A series of efficiency tests were used to define the bi-directional line gridding with trend angle the best interpolation procedure. The decorrugation - using the micro-leveling technique - was used to remove residual errors left by the usual leveling of the grid.

To the leveling and integration of the several blocks of data from the Brazil-Germany Geophysical Agreement (CGBA) flown during the 70's, covering most of the State of Minas Gerais and portions of State of Espírito Santo, a series of techniques were applied in order to achieve an efficient result. The task revealed laborious due to the lack of continuity among 59 data blocks, obtained with different flight heights, 2 km line spacing and east-west direction.

The visualization of the continuity of major magnetic structures, obtained by the integration of 4 (four) higher density airborne surveys flown in the center-southwest portion of the State of Minas Gerais, considered CGBA as a background reference.

Rio das Velhas Project (RV), Gems of Minas Gerais – Itabira/Ferros Project (IF), and areas 2 and 3 of Minas Gerais Airborne Geophysics Survey Program (PLAMG) were integrated using available procedures of grid knitting (suture, trend removal, and shared points). The evaluation and analysis of parameters and edge relationships among airborne surveys were used to define the best approach to join each pair of data block.

Linear transformations of the magnetic total field (amplitude and inclination of the analytical signal, vertical derivative, and horizontal gradient) were efficient in helping with the definition of geophysical discontinuities and magnetic sources associated with geological units.

Regarding CGBA, magnetic domains were interpreted as large regional blocks. These units were correlated with the mapped regional geology, allowing nomination of domains.

The integration of the other surveys, more modern and with higher data density (line spacing of 250 m and 500 m), allowed a more detailed correlation with mapped regional

geology. The obtained results showed an excellent correlation between geophysical units and known geology. The interpretation of magnetic linear features revealed a large amount of structures not recorded in the present geological cartography. This happened with a swarm of mafic dikes, as well.

The magnetic framework when integrated with the mapped geology lead to the visualization of regional tectonic blocks and the main shear zones present in the area. The main results are associated with the tectonic compartmentation of the south portion of São Francisco Craton, with the limits of Mineiro Belt and Araçuaí Belt.

The correlation of geophysical information with mapped geology in the Quadrilatero Ferrífero region showed the structure of the most important folds, especially those associated with itabirite bodies of the Caue formation (Itabira Group). Important to recognize the correlation observed between Quadrilatero mines and iron deposits with crest of the local magnetic relief.

## **RESUMO**

O escopo principal desta dissertação de mestrado é o processamento, nivelamento, integração e interpretação de diversos levantamentos aerogeofísicos magnetométricos realizados no Estado de Minas Gerais. Estes levantamentos integrados foram correlacionados com dados geológicos disponíveis para definir o arcabouço magnético-estrutural da porção sul do Cráton São Francisco.

O processamento consistiu no controle de qualidade, na avaliação da distribuição dos dados e na análise da consistência dos dados com o uso de testes como a diferença de quarta ordem. Testes de eficácia foram utilizados para definir o método bidirecional com ângulo de tendência como o melhor interpolador. A técnica da decorrugação foi usada - com o uso de técnicas de micronivelamento - para remover erros residuais do nivelamento da malha de vôo.

No nivelamento e integração dos dados do Convênio Geofísico Brasil – Alemanha (CGBA), que cobre quase todo Estado de Minas Gerais e parte do Espírito Santo, foram realizadas diversas técnicas de junção para se chegar a um resultado eficaz. A tarefa mostrou-se bastante trabalhosa pela falta de continuidade entre os 59 blocos de dados obtidos em diferentes altitudes e alturas sobre o terreno, pelo espaçamento de 2 km entre as linhas de vôo e pela perfilagem ao longo da direção leste-oeste.

O CGBA foi utilizado como plano de fundo para a visualização da continuidade das grandes feições magnéticas obtidas de quatro aerolevantamentos de alta densidade de amostragem realizados recentemente no centro-sudeste de Minas Gerais.

Os aerolevantamentos Projeto Rio das Velhas (RV), Projeto Gemas de Minas Gerais – Faixa Itabira Ferros (IF) e Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais (PLAMG) – Áreas 2 e 3; foram integrados com o método de sutura e remoção de tendências. A avaliação e análise dos parâmetros e relações de borda entre os aerolevantamentos definiram as melhores técnicas para cada par de junções.

Transformações lineares do campo magnético (amplitude do sinal analítico, inclinação do sinal analítico, derivada vertical e gradiente horizontal total) foram eficientes na definição das discontinuidades geofísicas e fontes magnéticas que indicam as feições e unidades geológicas.

No CGBA, os domínios magnéticos foram interpretados como grandes blocos regionais, e posteriormente correlacionados com dados geológicos disponíveis.

A junção dos levantamentos mais modernos e com melhor densidade de amostragem (perfis separados de 250 m e 500 m) possibilitou uma correlação mais detalhada com a geologia regional. Os resultados obtidos demonstraram uma excelente correlação. A interpretação dos lineamentos magnéticos mostra uma grande quantidade de estruturas não existentes nos mapas geológicos. O mesmo pode ser dito quanto ao enxame de diques máficos de direção noroeste.

O arcabouço magnético integrado com a geologia mostrou a compartimentação tectônica regional e as principais zonas de cisalhamento. Os principais resultados estão relacionados ao estado da arte do limite da porção sul do Cráton São Francisco, do Cinturão Mineiro e da Faixa Araçuaí.

A correlação dos produtos geofísicos com a geologia da região do Quadrilátero Ferrífero mostrou a estruturação das dobras mais importantes, principalmente em relação aos corpos dos itabiritos da Formação Cauê (Grupo Itabira). Outro importante resultado foi a correlação com as minas e depósitos de ferro do Quadrilátero que estão localizados nas cristas do relevo magnético.

## SUMÁRIO

Epígrafe e Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	iii
Abstract.....	v
Resumo.....	vii
Siglas e Abreviações.....	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xx
Lista de Anexos.....	xxi
1 Introdução.....	01
1.1 Apresentação.....	01
1.2 Objetivos.....	02
1.3 Localização da área de estudo.....	02
1.4 Métodos de trabalho.....	04
2 Base de Dados - Caracterização dos Levantamentos Aerogeofísicos.....	05
2.1 Apresentação.....	05
2.2 Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA) .....	07
2.3 Projeto Rio das Velhas (RV) .....	10
2.4 Projeto Gemas de Minas Gerais - Faixa Itabira Ferros (IF).....	13
2.5 Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais (PLAMG).....	15
2.5.1 Área 2 - Pitangui - São João del Rei - Ipatinga.....	16
2.5.2 Área 3 - Morro do Pilar - Serro - Guanhães.....	16
3 Processamento, Nivelamento e Integração dos Dados Magnetométricos Aéreos.....	17
3.1 Apresentação.....	17
3.2 Conversão da projeção cartográfica.....	20
3.3 Controle de qualidade.....	20
3.3.1 Distribuição, uniformidade e densidade.....	20
3.3.2 Distribuição das linhas de vôo.....	21
3.3.3 Consistência dos dados.....	23
3.4 Interpolação.....	25
3.4.1 Curvatura Mínima.....	25
3.4.2 Bi-direcional.....	26
3.5 Comparação dos resultados da interpolação.....	26
3.6 Teste da eficácia da interpolação.....	29

3.7 Decorrugação.....	31
3.8 Nivelamento e integração dos levantamentos aerogeofísicos.....	34
3.8.1 Método Mistura ( <i>Blend</i> ) .....	34
3.8.2 Método Sutura ( <i>Suture</i> ) .....	35
3.8.3 Remoção da tendência.....	35
3.8.4 Nivelamento e integração do CGBA.....	36
3.8.5 Nivelamento e integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	38
3.8.6 Integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	40
3.9 Imagens transformadas.....	44
3.10 Produtos finais.....	45
3.10.1 Produtos finais da integração CGBA, RV, IF e PLAMG.....	45
3.10.2 Detalhe dos produtos finais da integração CGBA, RV, IF, e PLAMG.....	53
4 Imagens Magnetométricas e sua Aplicação na Definição do Arcabouço Magnético- Estrutural da Porção Sul do Cráton São Francisco.....	60
4.1 Apresentação.....	60
4.2 Síntese Geológica do Quadrilátero Ferrífero.....	61
4.2.1 O estado da arte do Supergrupo Rio das Velhas.....	66
4.3 Interpretação geofísica.....	70
4.4 Interpretação e integração dos dados geofísicos e geológicos do levantamento CGBA.....	71
4.5 Interpretação geofísica da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	78
4.5.1 Lineamentos magnetométricos.....	78
4.5.2 Domínios magnetométricos.....	79
4.5.3 Mapa interpretativo magnetométrico.....	81
4.6 Integração dos dados geofísicos e geológicos dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	82
5 Conclusões e Sugestões.....	95
6 Referências Bibliográficas.....	96
7 Anexos.....	106



## SIGLAS E ABREVIações

AM	Amostragem
Au	Ouro
<i>BIF</i>	<i>Banded Iron Formation</i> Formação ferrífera bandada
CGBA	Projeto Convênio Geofísico Brasil-Alemanha
COMIG	Companhia Mineradora de Minas Gerais
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DOCEGEO	Rio Doce Geologia e Mineração S.A.
E	Leste
Eletromag	Eletromagnetometria
<i>FDEM</i>	<i>Frequency Domain Elettromagnetic induction</i> Indução eletromagnética no domínio da frequência
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transform</i> Transformada Rápida de Fourier
G.a.	Bilhões de anos
Gama	Gamaespectrometria
GPS	<i>Global Positioning System</i> Sistema de Posicionamento Global
<i>Gr</i>	<i>Greenwich</i>
h	Hora
Hz	Hertz – Leituras por segundo
<i>HEM</i>	<i>Helicopter Electromagnetic</i> Helicóptero eletromagnético
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IF	Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira Ferros)
IG	Instituto de Geociências da Universidade de Brasília
<i>IGRF</i>	<i>International Geomagnetic Reference Field</i> Campo Geomagnético Internacional de Referência
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
LC	Linhas de controle
LGA	Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília
LV	Linhas de vôo
m	Metro
M.a.	Milhões de anos
Mag	Magnetometria
MBR	Minerações Brasileiras Reunidas
MC	Meridiano Central
MG	Minas Gerais
mm	Milímetros
MMV	Mineração Morro Vermelho S. A.
N	Norte
Nd	Neodímio
nT	NanoTesla

nT/m	NanoTesla por metro
Pb	Chumbo
<i>PGW</i>	<i>Paterson, Grant &amp; Watson Limited</i>
PLAMG	Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais
pol <sup>3</sup>	Polegada cúbica
QF	Quadrilátero Ferrífero
rd	Radiano
RTDM	Rio Tinto Desenvolvimentos Minerais
RV	Projeto Rio das Velhas
s	Segundos
S	Sul
SAD 69	Datum <i>South American 1969</i>
<i>SAMMP</i>	<i>South American Magnetic Mapping Project</i> Projeto Mapa Aeromagnético da América do Sul
SEME	Secretaria de Minas e Energia – Governo de Minas Gerais
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Sm	Samário
<i>TANS</i>	<i>Trimble Advanced Navigation Sensor</i> Sensor de Navegação Avançada <i>Trimble</i>
U	Urânio
UnB	Universidade de Brasília
UTM	Universal Transversa de Mercator
<i>VLf</i>	<i>Very low frequency</i> Frequência muito baixa
W	Oeste
<i>WMC</i>	<i>Western Mining Company</i>
%	Porcentagem

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização e vias de acesso da área de estudo. O polígono pontilhado é o limite da área do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA), e o polígono contínuo é o limite da integração do Projeto Rio das Velhas (RV), do Projeto Gemas de Minas Gerais - Faixa Itabira Ferros (IF) e do Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais (PLAMG).....	03
Figura 2.1 – Localização dos levantamentos geofísicos aéreos RV, IF, PLAMG e dos 59 blocos levantados do Convênio Geofísico Brasil Alemanha (CGBA).....	06
Figura 2.2 – Localização e principais características do Projeto Convênio Geofísico Brasil–Alemanha – CGBA.....	07
Figura 2.3 – Localização e principais características do Projeto Rio das Velhas.....	10
Figura 2.4 – Área coberta pelo Projeto Rio das Velhas e direção das linhas de vôo (Modificado de Marini, 1993).....	11
Figura 2.5 – Distribuição esquemática dos sensores (Modificado de Hildebrant & Johnson, 1993).....	12
Figura 2.6 – Localização e principais características do Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira Ferros).....	13
Figura 2.7 – Localização e principais características das áreas do Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – PLAMG (COMIG, 2005).	15
Figura 3.1 – Fluxograma com as etapas do processamento, nivelamento e integração dos dados aeromagnetométricos.....	18
Figura 3.2 – Fluxograma com as etapas para a transformação linear das imagens magnetométricas.....	19
Figura 3.3 – Detalhe com os eventuais desvios nas linhas de vôo no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste. Espaçamento das linhas de vôo de 250 m.....	22
Figura 3.4 – Detalhe das linhas de vôo do PLAMG–Área 2–Bloco Leste com um desvio que ficou com um espaçamento de 268 m, 18 m maior que o planejado de 250 m.....	22
Figura 3.5 – Detalhe mostrando eventuais desvios nas linhas de vôo no PLAMG–Área 3. Espaçamento das linhas de vôo de 250 m.....	23

Figura 3.6 – Representação esquemática da diferença de quarta ordem.....	23
Figura 3.7 – Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste.....	24
Figura 3.8 – Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Leste, linha de vôo 220050.....	24
Figura 3.9 – Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 3, linha de vôo 330. Indicado pela seta observa-se um pico.....	24
Figura 3.10 – Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 3, linha de vôo 830.....	24
Figura 3.11 – Comparação visual dos métodos de interpolação, da esquerda para a direita: curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência. Levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste na Região de Itabirito.....	27
Figura 3.12 – O resultado da interpolação bi-direcional com ângulo de tendência à esquerda e sem ângulo de tendência, com influência das linhas de vôo, à direita. Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira-Ferros).....	27
Figura 3.13 – Comparação visual dos métodos de interpolação bi-direcional (esquerda) e curvatura mínima (direita). Mapa da amplitude do sinal analítico com célula de 100 metros.....	28
Figura 3.14 – O resultado da interpolação bi-direcional com ângulo de tendência à esquerda e sem ângulo de tendência, com influência das linhas de vôo, à direita. Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira-Ferros).....	28
Figura 3.15 – Ângulo de tendência.....	29
Figura 3.16 – Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Perfis de uma linha de vôo do levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste para cada método de interpolação do canal MAGIGRF. Dado medido (roxo), curvatura mínima (vermelho), bi-direcional (verde) e bi-direcional com ângulo de tendência (azul).....	30

Figura 3.17 – Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Perfis de uma linha de vôo do levantamento PLAMG Área 3 para cada método de interpolação do canal MAGIGRF. Dado medido (vermelho), curvatura mínima (azul) e bi-direcional com ângulo de tendência (verde).....	30
Figura 3.18 – Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Detalhe dos perfis da linha de vôo 773 do levantamento IF para cada método de interpolação do canal MAG. Dado medido (roxo), curvatura mínima (azul), bi-direcional (vermelho) e bi-direcional com ângulo de tendência (verde).....	30
Figura 3.19 – Decorrugação do PLAMG Área 2 Bloco Leste, mapa da amplitude do sinal analítico. À esquerda mapa sem fitragem e à direita mapa filtrado.....	32
Figura 3.20 – Decorrugação do PLAMG Área 2 Bloco Oeste, mapa da amplitude do sinal analítico. À esquerda mapa sem fitragem e à direita mapa filtrado.....	33
Figura 3.21 – Decorrugação do PLAMG Área 2 Bloco Oeste, mapa da amplitude do sinal analítico. À esquerda mapa sem fitragem e à direita mapa filtrado.....	33
Figura 3.22 – Articulação dos blocos digitalizados pela PGW e WMC. Coordenadas planas em Mercator Equatorial (Monteiro, 2002).....	36
Figura 3.23 – Bloco das junções parciais digitalizado pela WMC (esquerda) e pela PGW (direita).....	37
Figura 3.24 – Sobreposição de 3,8 km da fronteira sudoeste do levantamento IF (esquerda) com a Área 2 (direita). Na cruz observa-se uma anomalia na imagem do campo magnético coincidente entre os dois levantamentos.....	38
Figura 3.25 – Mapa do Campo Magnético Anômalo da sutura entre a malha do CGBA, e a malha da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	41
Figura 3.26 – Comparação entre (a) a malha do CGBA, (b) a sutura do CGBA com a integração dos levantamentos IF, RV e PLAMG; (c) e a sutura do CGBA com a integração dos levantamentos IF, RV e PLAMG reinterpolados com célula de 500 m e com aplicação do filtro hanning 5 vezes.....	42
Figura 3.27 – Comparação do campo magnético anômalo (a) (b) e da amplitude do sinal analítico (c) (d) do levantamento CGBA (a) (c) e da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG (b) (d).....	43

Figura 3.28 – Mapa do Campo Magnético Anômalo da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	46
Figura 3.29 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	47
Figura 3.30 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico colorida do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG..	48
Figura 3.31 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG. ....	49
Figura 3.32 – Mapa da Derivada Vertical do Campo Magnético (Primeira Ordem) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	50
Figura 3.33 – Mapa do Gradiente Horizontal Total do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	51
Figura 3.34 – Mapa da composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	52
Figura 3.35 – Mapa do Campo Magnético Anômalo do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	53
Figura 3.36 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	54
Figura 3.37 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico colorida do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	55
Figura 3.38 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	56
Figura 3.39 – Mapa da Derivada Vertical do Campo Magnético (Primeira Ordem) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	57
Figura 3.40 – Mapa do Gradiente Horizontal Total do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	58

Figura 3.41 – Mapa da composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.....	59
Figura 4.1 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (segundo Noce, 1995; Pedrosa-Soares et al, 1994) com os principais depósitos de ouro e de ferro. Depósitos de ferro: 1-Águas Claras; 2-Mutuca; 3-Capão Xavier; 4-Jangada/Samambaia; 5-Tamanduá; 6-Serra/Capitão do Mato; 7-Abóboras; 8-Pico; 9-Miguel Congo; 10-Alegria; 11-Fazendão; 12-Timbopeba; 13-Capanema; 14-Gandarela; 15-Itabira.....	62
Figura 4.2 – Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Marshak e Alkmim, 1989; Chemale Jr. et al, 1991).....	63
Figura 4.3 – Seção transversal que ilustra o modelo de evolução tectônica sugerida para o Quadrilátero Ferrífero antes e durante a Orogênese Transamazônica (Marshak e Alkmim, 1989; Chemale Jr. et al, 1991).....	66
Figura 4.4 – Mapa Geotectônico do Brasil com a localização dos aerolevantamentos que recobrem a porção sul do Cráton São Francisco, uma parte das Faixas Móveis Araçuaí (4), Brasília (5) e Ribeira (6), e coberturas neoproterozóicas (Schobbenhaus e Campos, 1984).....	71
Figura 4.5 – Interpretação de estruturas regionais em forma de arco (A e B) na imagem do campo anômalo, compostas pela variação de altos magnéticos (cores quentes) com baixos magnéticos (cores frias) em relação à distribuição espacial. Ba – Quadrilátero Ferrífero; Bb – Anomalia de Pirapora.....	73
Figura 4.6 – Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco com a indicação das estruturas regionais interpretadas no campo anômalo do CGBA – A e B (Modificado de Schobbenhaus e Bellizzia, 2000). Limites do cráton segundo Almeida (1977), Alkmim <i>et al.</i> (1993) e Baars (1997). Bb – Anomalia de Pirapora.....	74
Figura 4.7 – Mapa dos limites do Cráton São Francisco, do traço que marca a atuação do paleoproterozóico, da sutura neoproterozóica e dos domínios magnéticos regionais simplificados do CGBA.....	76
Figura 4.8 – Mapa dos lineamentos magnéticos regionais simplificados do CGBA.....	77

Figura 4.9 – Mapa dos lineamentos magnetométricos interpretados dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	78
Figura 4.10 – Mapa dos domínios magnetométricos classificados do relevo magnético dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG. ....	80
Figura 4.11 – Mapa interpretativo magnetométrico dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG.....	81
Figura 4.12 – Mapa de comparação das estruturas mapeadas na cartografia geológica existente (Schobbenhaus; <i>et al</i> , 2004) e dos lineamentos magnéticos interpretados.....	82
Figura 4.13 – Mapa geológico classificado pela idade mínima (Schobbenhaus; <i>et al</i> , 2004).....	83
Figura 4.14 – Componentes do embasamento e mapa geológico do extremo sul do Cráton São Francisco (Cinturão Mineiro de Teixeira <i>et al</i> , 1996b) (Alkmim,2004).....	85
Figura 4.15 – Mapa geológico da porção sul da Faixa Araçuaí e dos limites com o Cráton São Francisco e núcleo cristalino (Peres <i>et al</i> , 2004).....	86
Figura 4.16 – Mapa do arcabouço magnético-estrutural interpretado dos produtos geofísicos e da integração com a geologia. A, B, C, D – Cinturão Mineiro; E, F, G, H – Faixa Araçuaí.....	89
Figura 4.17 – Correlação do limite do Cráton São Francisco, do traço que marca a atuação do paleoproterozóico e da sutura neoproterozóica com a imagem da amplitude do sinal analítico colorida.....	90
Figura 4.18 – Mapa de comparação dos diques da geologia cartográfica conhecida com os diques magnéticos.....	91
Figura 4.19 – Mapa de comparação dos diques magnéticos e dos lineamentos magnéticos interpretados do CGBA, com a continuidade destes de um levantamento para outro.....	92



Figura 4.20 – Correlação das estruturas do Quadrilátero Ferrífero e dos Itabiritos com a imagem da amplitude do sinal analítico. OP – Ouro Preto; SC – Sinclinal Curral; SM – Sinclinal Moeda; SSA – Sinclinal Santo Antônio; SDB – Sinclinal Dom Bosco; AM – Anticlinal Mariana; SCH – Sinclinal Conta História; SSR – Sinclinal Santa Rita; AF – Anticlinal Furquim; SOF – Sinclinal Ouro Fino; AC – Anticlinal Conceição; SG – Sinclinal Gandarela; SVL – Sinclinal Vargem do Lima; ARV – Arqueamento Rio das Velhas; LJBS – Lineamento Jeceaba - Bom Sucesso; LC - Lineamento Congonhas; CB – Complexo Bação; CBf – Complexo Bonfim; CC – Complexo Caeté; CSB – Complexo Santa Bárbara (extraído de Dorr, 1969; Endo, 1997)..... 93

Figura 4.21 – Imagem da amplitude do sinal analítico indicando movimento dextral da zona de cisalhamento..... 94

Figura A1 – Localização do CGBA que abrange quase todo o Estado de Minas Gerais e do Espírito Santo (Projeto 1009; CPRM, 2004)..... 106

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Comparação das principais características dos aerolevantamentos geofísicos utilizados neste trabalho. Siglas e abreviações ver página xi no início do trabalho.....	05
Tabela 2.2 – Blocos do Projeto Rio das Velhas e direção das linhas de vôo e controle..	12
Tabela 2.3 – Coordenadas limites do Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira-Ferros).....	13
Tabela 3.1 – Produtos transformados finais da integração CGBA, RV, IF e PLAMG....	45
Tabela 4.1 – Classificação dos domínios em relação ao relevo magnético.....	79
Tabela A1– Coordenadas planas (UTM em metros) e geográficas (grau-minuto-segundo) do polígono delimitador da área de estudo (CPRM, 1972).....	106
Tabela A2 – Tabela do Processamento Geofísico.....	110

## ***LISTA DE ANEXOS***

Anexo I – Localização do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA).....	106
Anexo II – Tabela do processamento geofísico.....	110
Anexo III – Trabalhos apresentados.....	113

# 1 INTRODUÇÃO

*“Não se volta se a meta é a estrela”  
Leonardo Da Vinci*

## 1.1 Apresentação

Diversos projetos geofísicos aéreos contíguos e sobrepostos foram realizados no Estado de Minas Gerais desde a década de 70 até os dias atuais. Alguns destes projetos ainda estão em curso. Estes projetos visam cobrir uma boa parcela do estado em áreas com grande potencial mineral. Na porção centro-sudeste do estado os dados mais recentes foram levantados em continuidade às bordas dos levantamentos anteriores.

Dentre os aerolevamentos mencionados estão o Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA), o Projeto Rio das Velhas (RV), o Projeto Gemas de Minas Gerais - Faixa Itabira Ferros (IF) e o Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais (PLAMG); realizados nos anos de 1971, 1992, 1996 e 2000/2001, respectivamente. O CGBA cobre uma área de 570.000 km<sup>2</sup>, com dados de magnetometria. Os outros levantamentos juntos cobrem uma área de aproximadamente 51.600 km<sup>2</sup>, com dados de magnetometria e gamaespectrometria.

Esta dissertação trata do processamento destes dados geofísicos, com a geração de mapas transformados, importantes na interpretação dos dados coletados e uma correlação com a cartografia geológica regional existente. Trata, em especial, do nivelamento e integração dos dados magnetométricos destes aerolevamentos tão díspares realizados com tecnologias e em estados da arte diferentes.

Os dados recobrem os componentes tectônicos da porção sul do Cráton São Francisco, de parte do Supergrupo Espinhaço e a Faixa Araçuaí; os limites destes blocos foram correlacionados com os dados geofísicos para mostrar a compartimentação tectônica da região.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal o processamento, o nivelamento, a interpretação e a integração de cinco aerolevantamentos geofísicos (magnetometria) com características diferentes, a geração de produtos regionais para a interpretação geofísica e a integração com a geologia da porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais.

Os objetivos específicos são:

- A caracterização da base de dados geofísicos, com a localização, o período, o objetivo, os responsáveis, as técnicas e os equipamentos utilizados em cada um dos aerolevantamentos;
- A conversão dos bancos de dados para uma única projeção cartográfica;
- A utilização de técnicas e métodos de processamento de dados magnetométricos, como o controle de qualidade (avaliação da distribuição, uniformidade e densidade dos dados, da distribuição das linhas de vôo e da consistência dos dados); a interpolação pelos métodos curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência; a comparação e teste de eficácia da interpolação; e a decorrugação da propriedade medida;
- O nivelamento e integração dos levantamentos pelos métodos de mistura (*Blend*) e sutura (*Suture*), com remoção de tendências e diferentes usos dos pontos;
- O cálculo das derivadas horizontais ( $x,y$ ) e vertical ( $z$ ) para a geração de mapas transformados.;
- A interpretação da expressão magnética e a integração com a geologia em um sistema de informações geográficas (SIG) para correlação com os segmentos da porção sul do Cráton São Francisco, com os blocos tectônicos regionais, com os lineamentos, com as zonas de cisalhamento principais e com o Quadrilátero Ferrífero.

## 1.3 Localização da área de estudo

A área do projeto CGBA cobre todo o Estado de Minas Gerais, exceto o Triângulo Mineiro, e parte do Estado do Espírito Santo.

A área dos outros levantamentos está localizada no centro-sudeste do Estado de Minas Gerais. A metade oeste da área é limitada pelos paralelos 19°S e 21° 30'S, e meridianos 44°W e 45° 30'W. A metade leste é limitada pelos paralelos 18°S e 21° 30'S, e meridianos 42° 30'W e 44°W (Figura 1.1).

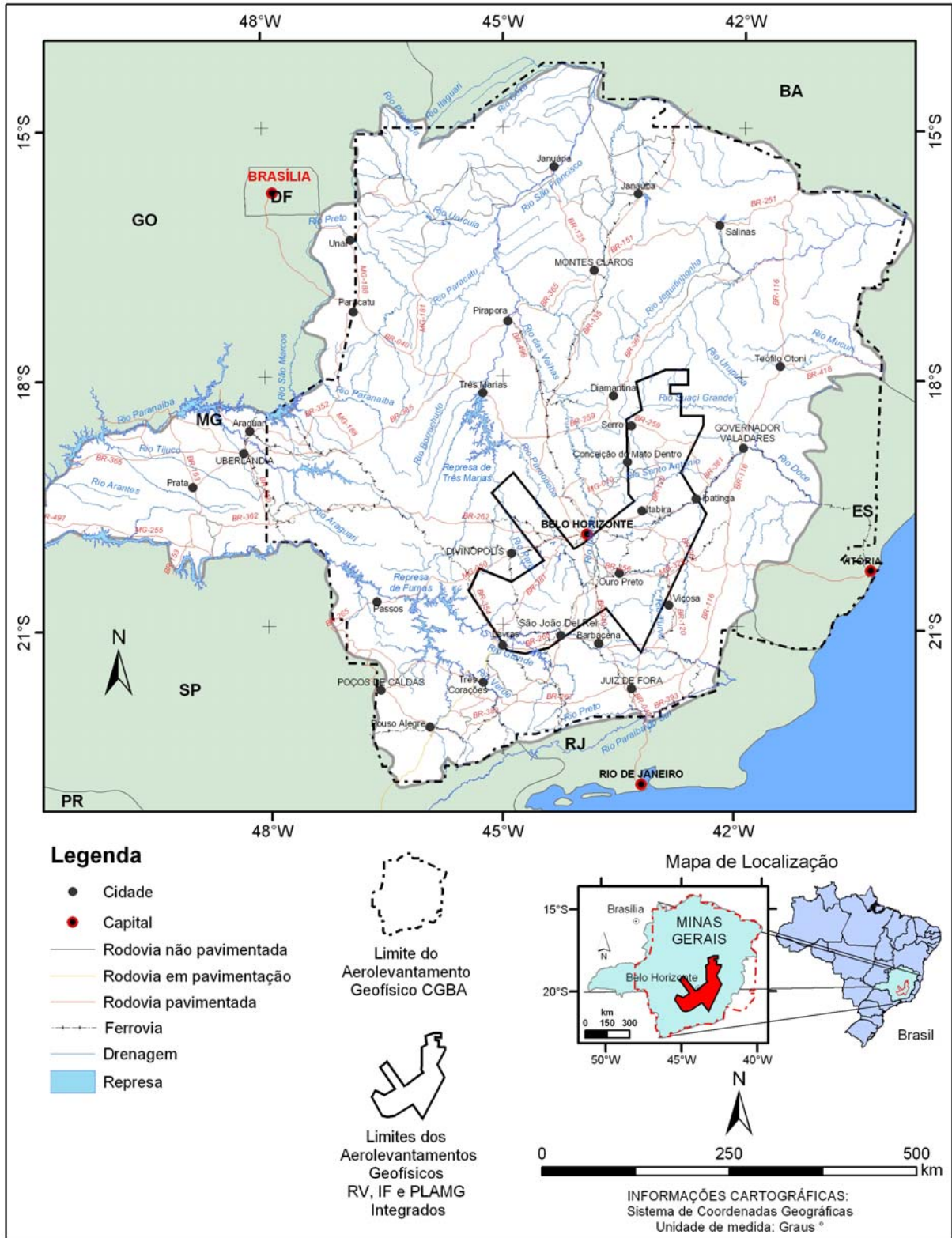


Figura 1.1 – Localização e vias de acesso da área de estudo. O polígono pontilhado é o limite da área do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA), e o polígono contínuo é o limite da integração do Projeto Rio das Velhas (RV), do Projeto Gemas de Minas Gerais - Faixa Itabira Ferros (IF) e do Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais (PLAMG).

## 1.4 Escopo do trabalho

O trabalho iniciou-se com o estudo bibliográfico sobre os métodos e técnicas de processamento dos dados geofísicos referentes aos levantamentos escolhidos, a aquisição de seus dados, a organização dos bancos de dados pertinentes e da cartografia regional.

Posteriormente foram realizados estudos específicos para a definição dos métodos de trabalho e dos esquemas de processamento a serem adotados em cada projeto.

O processamento dos dados envolveu o controle de qualidade das informações geradas, os testes de eficácia dos métodos de interpolação, a decorrugação e a geração de mapas. Posteriormente foram realizados o nivelamento e ajuste dos dados para integração dos aerolevamentos entre si.

A interpretação geofísica e a integração geofísica-geologia foram feitas em um sistema de informações geográficas – SIG.

A dissertação tem a seguinte estrutura: **1) caracterização dos levantamentos aerogeofísicos**, descrição da base de dados e da sua origem; **2) processamento dos dados aeromagnéticos**, descrição do processamento dos dados desde o controle de qualidade até a junção dos aerolevamentos; **3) interpretação e integração dos dados geofísicos**, geração dos mapas interpretativos das assinaturas e respostas da magnetometria; **4) integração dos dados geofísicos e geológicos**, os resultados geofísicos do processamento e da junção são aplicados na integração com geologia regional conhecida.

## 2 BASE DE DADOS - CARACTERIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS

*“Acredito ser o nosso dever difundir a ciência, para melhor desenvolvê-la”  
Galileu Galilei*

### 2.1 Apresentação

Neste capítulo será abordada a caracterização dos levantamentos aerogeofísicos utilizados neste trabalho. Serão descritos seus contratantes, os períodos, as técnicas, os equipamentos e os procedimentos utilizados no levantamento dos dados. Abaixo está uma tabela com o resumo das suas principais características (Tabela 2.1) e o mapa de localização dos levantamentos (Figura 2.1).

Tabela 2.1 – Comparação das principais características dos aerolevantamentos geofísicos utilizados neste trabalho. Siglas e abreviações ver página xi no início do trabalho.

PROJETO	CGBA	RV - Rio das Velhas	IF - Itabira-Ferros	PLAMG -Área 2	PLAMG -Área 3
<b>Ano do Levantamento:</b>	1971	1992	1996	2000/2001	2000/2001
<b>Métodos:</b>	Mag	Mag, Gama e Eletromag	Mag e Gama	Mag e Gama	Mag e Gama
<b>Contratante:</b>	DNPM	Fundação Gorceix	CPRM	SEME - MG	SEME - MG
<b>Contratado:</b>	CPRM / PRAKLA	PROSPEC S.A.	GEOMAG S.A.	LASA	LASA
<b>Período:</b>	03/71 a 09/72	17/07 a 04/10/92	02 a 04/96	2000/2001	2000
<b>Número de áreas:</b>	59	04	01	02	01
<b>Total de Perfis:</b>	360.000 km	6.726 km	9.170 km	160.271 km	49.500 km
<b>Intervalo de amostragem:</b>	60 m	Mag 5m Gama 25m	60 m	Mag 8 m Gama 80 m	Mag 8m Gama 70 m
<b>Altura de Vôo:</b>	350 m	60 m	150 m	100 m	100 m
<b>Área Total:</b>	570.000 km <sup>2</sup>	1700 km <sup>2</sup>	4.600 km <sup>2</sup>	35.176 km <sup>2</sup>	10.140 km <sup>2</sup>
<b>Direção (LV):</b>	E-W	N40°W, N50°E	N40°W	N30°E / N30°W	N30°W
<b>Espaçamento (LV):</b>	2 km	250 m	500 m	250 m	250 m
<b>Direção (LC):</b>	N-S	N50°E, N40W	N24°E	N60°W / N60°E	N60°E
<b>Espaçamento (LC):</b>	14 a 20 km	5 km	12 km	2500 m	2500 m
<b>Tempo de Integração Gama:</b>	_____	1 s	1 s	1s	1s
<b>Velocidade do vôo:</b>		90 km/h	190 km/h	200 km/h	200 km/h
<b>Sistema de Navegação:</b>	Navegação visual	GPS	TANS II	GPS Picodas/ Novatel/ Racal	GPS Picodas/ Novatel/ Racal



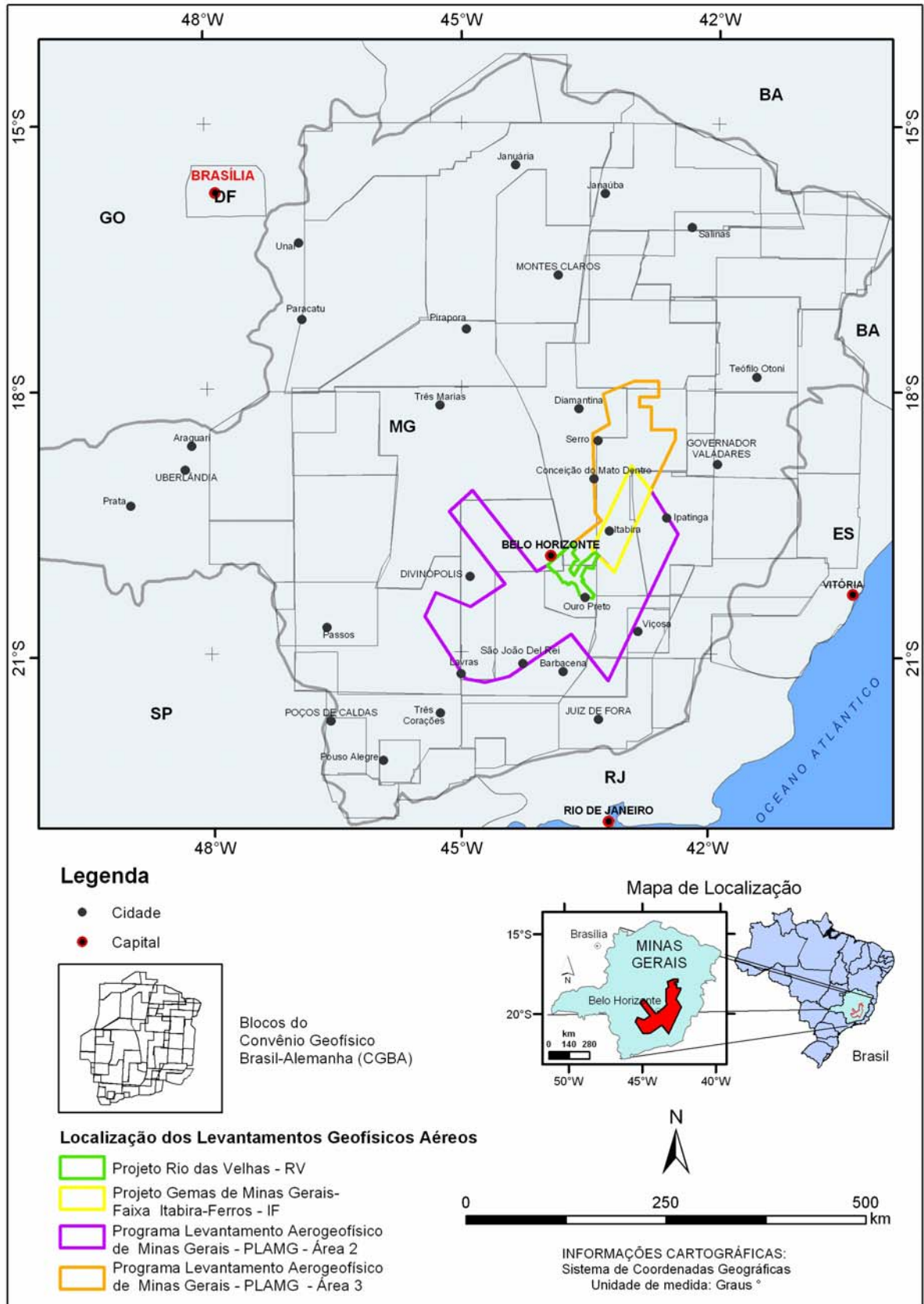


Figura 2.1 – Localização dos levantamentos geofísicos aéreos RV, IF, PLAMG e dos 59 blocos levantados do Convênio Geofísico Brasil Alemanha (CGBA).

## 2.2 Projeto Convênio Geofísico Brasil - Alemanha – CGBA

O Projeto Convênio Geofísico Brasil - Alemanha foi realizado no começo da década de 70, e teve como objetivo o levantamento, processamento e interpretação de dados magnéticos aéreos do Estado de Minas Gerais (com exceção do Triângulo Mineiro) e de parte do Estado do Espírito Santo (Figura 2.2, Apêndice I). O intuito foi contribuir com o conhecimento e o mapeamento geológico regional do estado. O contratante foi o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e a contratada foi uma parceria entre o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a empresa da Alemanha PRAKLA-SEISMOS GmbH.

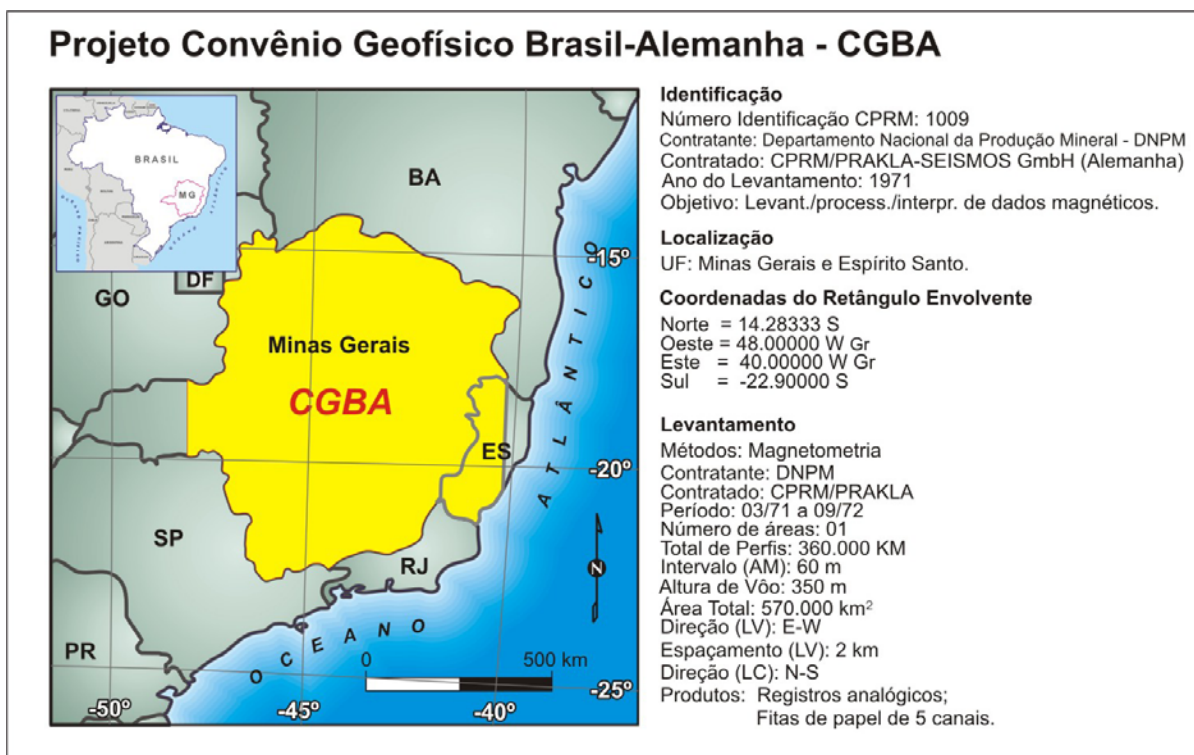


Figura 2.2 – Localização e principais características do Projeto Convênio Geofísico Brasil - Alemanha – CGBA (Monteiro, 2002).

As coordenadas geográficas do retângulo envolvente são: 14.28333 S, 40.00000 W Gr, 22.90000 S e 48.00000 W Gr.

O método geofísico empregado foi a magnetometria. O período do levantamento se estendeu de março de 1971 a setembro de 1972. A extensão perfilada foi de 360.000 km distribuídos em uma área com 570.000 km<sup>2</sup>. A direção das linhas de vôo foi E-W com espaçamento de 2 km. A direção das linhas de controle foi N-S com espaçamento que varia de

14 a 20 km. O intervalo de amostragem foi de 60 m. Os registros foram analógicos em fitas de papel de 5 canais.

A área do projeto foi dividida em 138 blocos para a coleta dos dados sobre o campo magnético local. Foram levantados à altitude constante (*constant barometric height*) com a menor altura de vôo possível sobre o terreno (aproximadamente 350 m), em respeito à rugosidade normal do terreno na região.

Sistemas de navegação automática com radares de efeito *Doppler* foram utilizados para auxiliar a navegação visual. A barometria foi usada para o controle altimétrico. A locação de cada ponto de medição foi feita por interpolação linear entre outros recuperados a partir dos registros analógicos da trajetória sobrevoada obtidos dos filmes de 35 mm registrados por câmeras de rastreo.

Os valores medidos para a intensidade do campo magnético foram corrigidos originalmente do efeito geomagnético com o uso de polinômios do segundo grau interpolados a partir de valores do IGRF (*Internacional Geomagnetic Reference Field* – Campo Geomagnético Internacional de Referência) calculados em pontos específicos da área coberta pelo aerolevanteamento.

O aeromagnetômetro utilizado foi o *GEOMETRICS* modelo G-803 de precessão protônica livre. A aeronave utilizada foi um *Aerocommander* com o sensor rebocado em um charuto, preso a um cabo de aproximadamente 25 m de comprimento (*bird*). Os produtos do aerolevanteamento foram os Mapas de Contorno da Intensidade Magnética Total (escalas 1:100.000, 1:500.000 e 1:1.000.000) e 54 fitas magnéticas de 600 pés com cópias das fitas originais em papel furado (PRAKLA-SEISMOS GmbH, 1972). Estas gravações digitais foram perdidas.

Em 1995 foi firmado um Convênio Técnico-Científico entre o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a empresa canadense *Paterson, Grant & Watson Limited* – *PGW* de consultoria em geofísica. O objetivo do convênio foi o Projeto “*South American Magnetic Mapping Project – SAMMP*” para gerar o Mapa Aeromagnético da América do Sul. Para recuperar os dados do CGBA, a *PGW* digitalizou 219 folhas em escala 1:100.000, dos mapas de contornos magnéticos para gerar o arquivo dos dados magnéticos em malha. Os dados cartografados já estão reduzidos do *International Geomagnetic Reference Field* – *IGRF*. As coordenadas Leste (X) e Norte (Y) dos pontos referem-se à Projeção Equatorial de Mercator que utiliza o elipsóide de Clark 1880.

Como a região tem desníveis topográficos, o levantamento foi feito em 37 alturas barométricas (altitudes) diferentes. Para corrigir estas diferenças os dados magnéticos

digitalizados foram nivelados com relação a estas 37 altitudes e depois foram “continuados para cima” na altitude de 1 km e dispostos em uma malha quadrada de 1 x 1 km. Por isso, os arquivos XYZ da mesma folha 1:100.000 digitalizada a partir dos dados magnéticos tem a inconveniência de coexistirem grupos de perfis levantados com altitudes diferentes. Assim os dados magnéticos em malha que foram nivelados são mais confiáveis para interpretação que os arquivos XYZ (Monteiro, 2002).

### 2.3 Projeto Rio das Velhas – RV

O Projeto Rio das Velhas foi realizado no ano de 1992 e teve como objetivo o levantamento, processamento e interpretação de dados magnéticos, radiométricos e eletromagnéticos na Região do Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais (Figura 2.3). O intuito do projeto foi estudar melhor as ocorrências de ouro da região.

O grupo contratante foi um Consórcio de Empresas Mineradoras, o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e a Fundação Gorceix. A contratada foi a PROSPEC S.A. - Geologia, Prospecções e Aerolevantamentos. O consórcio foi firmado entre as empresas mineradoras Rio Doce Geologia e Mineração S.A. - DOCEGEO, Rio Tinto Desenvolvidos Minerais LTDA - RTDM, Mineração Morro Velho S.A. - MMV, Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG, Minerações Brasileiras Reunidas - MBR, Mineração Trindade-Samitri S.A., UNANGEN Mineração e Metalurgia S.A. e WMC Mineração S.A. Foi feito um acordo operacional entre este consórcio de empresas, o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, e a Fundação Gorceix. A Fundação Gorceix foi responsável pela administração dos recursos financeiros do projeto e pela contratação dos serviços. O contrato com a PROSPEC para realização do aerolevante geofísico foi firmado no dia 15 de junho de 1992.

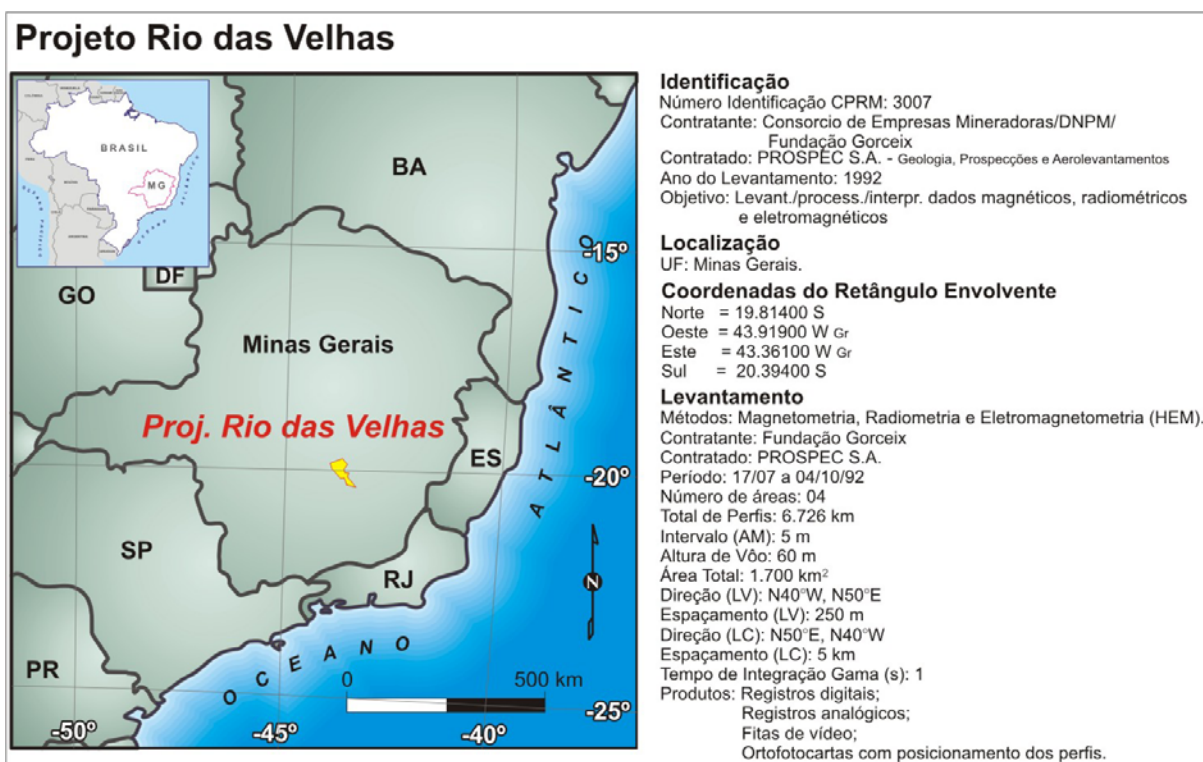


Figura 2.3 – Localização e principais características do Projeto Rio das Velhas (PROSPEC S.A., 1993).



As coordenadas geográficas do retângulo envolvente são: 19.81400 S, 43.36100 W Gr, 20.39400 S e 43.91900 W Gr.

Os métodos utilizados foram o magnetométrico, o radiométrico e o eletromagnetométrico (HEM). O período do levantamento foi de 17 de julho a 04 de outubro de 1992. Foram cobertas quatro áreas com um total de 1.700 km<sup>2</sup> e 6.726 km perfilados. O intervalo de amostragem foi de 5 m para magnetometria e eletromagnetometria, e 25 m para gamaespectrometria com uma altura de vôo de 80 m. A direção das linhas de vôo variou com os blocos voados em N40°W e N50°E com espaçamento de 250 m. A direção das linhas de controle variaram entre N50°E e N40°W com espaçamento de 5 km, de acordo com a direção de amostragem empregada (Figura 2.4 e Tabela 2.2). O tempo de integração gamaespectrométrica foi de 1 s. Os produtos tiveram registros digitais e analógicos, e estão acompanhados de fitas de vídeo e ortofotocartas com posicionamento dos perfis.

O projeto foi dividido em 4 blocos para orientar as linhas de vôo perpendicularmente à tendência geral das rochas dos Grupos Nova Lima e Maquiné, devido às características do levantamento de alta densidade de amostragem, e para racionalizar as operações de vôo e do processamento dos dados (Figura 2.4 e Tabela 2.2).

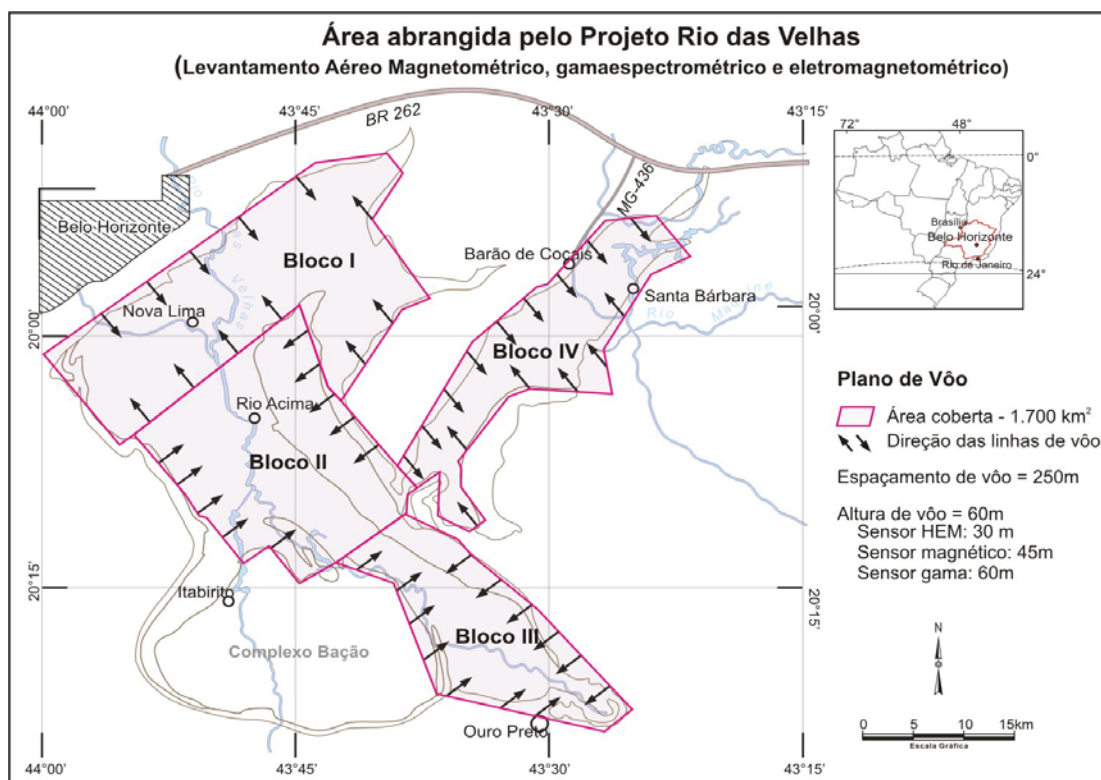


Figura 2.4 – Área coberta pelo Projeto Rio das Velhas e direção das linhas de vôo (Modificado de Marini, 1993).

Tabela 2.2 – Blocos do Projeto Rio das Velhas e direção das linhas de vôo e controle.

Blocos	Linha de vôo – LV	Linha de controle - LC
<b>Bloco I</b>	N40°W	N50°E
<b>Bloco II</b>	N50°E	N40°W
<b>Bloco III</b>	N50°E	N40°W
<b>Bloco VI</b>	N40°W	N50°E

A plataforma utilizada foi o helicóptero de grande porte, *Bell 212*. O aeromagnetômetro foi o AERODAT/IFG, acoplado a um sensor de bombeamento ótico (vapor de hélio), com sensibilidade limite de 0,01 nT. O sensor do magnetômetro e dos sistemas eletromagnéticos “*Very Low Frequency*” – *VLF* e “*Frequency Domain Eletromagnetic induction*” – *FDEM*, foram rebocados por um cabo e instalados em charutos (*bird*). O sensor magnetométrico e o sistema *VLF* foram mantidos a aproximadamente 45 m de altura sobre a superfície e a 15 m da aeronave. O sistema *FDEM* foi mantido a 30 m de altura sobre a superfície e a 30 m do helicóptero (Figura 2.5).

O aerogamaespectrômetro instalado a bordo do helicóptero era do modelo EXPLORANIUM GR-820, com 256 canais espectrais e com volume total dos cristais detectores de iodeto de sódio ativado a tálio de 1024 polegadas cúbicas (PROSPEC S.A., 1993).

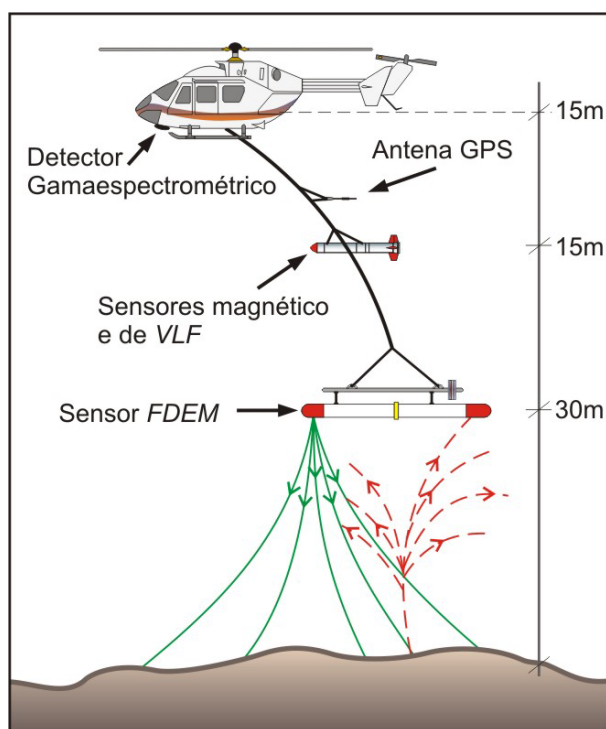


Figura 2.5 – Distribuição esquemática dos sensores (Hildebrant &amp; Johnson, 1993).

## 2.4 Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira Ferros) - IF

O Projeto Gemas de Minas Gerais foi realizado na Faixa Itabira Ferros no ano de 1996 com intuito de investigar depósitos de pedras preciosas - esmeraldas e outras (Figura 2.6). O objetivo foi levantar e processar dados magnéticos e radiométricos. O contratante foi o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM e os contratados foram o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a GEOMAG S.A.

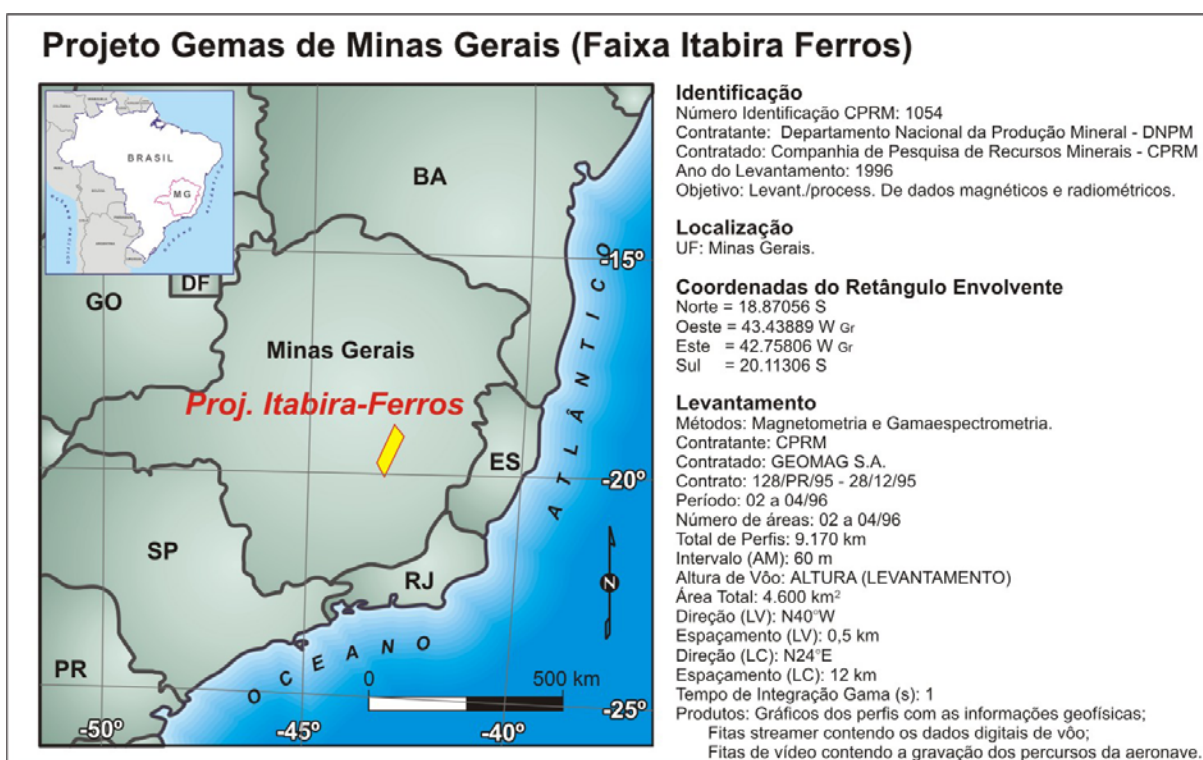


Figura 2.6 – Localização e principais características do Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira Ferros) (GEOMAG, 1996).

O retângulo envolvente tem como coordenadas geográficas 18.87056 S, 42.75806 W Gr, 20.11306 S e 43.43889 W Gr. As coordenadas limites do projeto estão descritas na tabela 2.3 abaixo.

Tabela 2.3- Coordenadas limites do Projeto Gemas de Minas Gerais, MC - Meridiano Central.

	UTM (E)	UTM (N)	MC	Latitude	Longitude
<b>Vértice 1</b>	663492	7805994	45	19.5006 S	43.2620 W Gr
<b>Vértice 2</b>	710997	7912276	45	18.5214 S	42.5950 W Gr
<b>Vértice 3</b>	735811	7881189	45	19.0855 S	42.4529 W Gr
<b>Vértice 4</b>	735811	7881189	45	19.0855 S	424529 W Gr



Os métodos utilizados no levantamento foram de magnetometria e gamaespectrometria. A amostragem ocorreu no período de fevereiro a abril de 1996. Cobriu uma área de 4.600 km<sup>2</sup>. Foi levantado um total de 9.170 km de perfis com linhas de vôo de direção N40°W espaçadas de 500 m. A direção das linhas de controle foi N24°E espaçadas de 12 km. O intervalo de amostragem foi de 60 m e o tempo de integração gama foi de 1 s. Teve como produtos registros analógicos em perfis com as informações geofísicas e registros digitais em fitas *streamer*. As trajetórias seguidas pela aeronave foram registradas em fitas de vídeo.

A GEOMAG utilizou uma aeronave *Islander* de prefixo PT-KAB. A velocidade média dos vôos foi de 190 km/h. O sensor do magnetômetro de bombardeamento ótico (vapor de césio) estava instalado na cauda do avião (*stringer*). O modelo utilizado foi o G-822A da GEOMETRICS com ciclo de amostragem de 10 Hz e sensibilidade limite de 0,005 nT.

O aerogamaespectrômetro empregado foi o EXPLORANIUM, modelo GR-820. O volume total dos cristais detectores (iodeto de sódio ativado por tálio) foi de 2.048 polegadas cúbicas para os cristais voltados para baixo e de 256 polegadas cúbicas para os cristais voltados para cima.

O Sistema de Posicionamento Global GPS foi utilizado com o rastreador de satélite “*Trimble Advanced Navigation Sensor*” (*TANS II*), modelo 4400 de 6 canais, que utilizou o código C/A e a frequência L1 (*Canadian GPS Associates, 1986*). O receptor “TANS” é acoplado a um microcomputador “PNAV”, que tem uma programação que informa aos pilotos posição, trajetória, velocidade e deriva da aeronave em relação ao perfil planejado. A cada segundo as informações de posição foram atualizadas. Um receptor “TANS” acoplado a um coletor de dados “Polycorder” foi colocado no aeroporto de Barão dos Cocais para aplicação da correção diferencial aos dados GPS dos perfis. A cada segundo as informações de posição no local foram atualizadas. Segundo o manual do fabricante “*Pathfinder Professional System*”, da *Trimble Navigation Ltda, Ontário, 1992*, a correção é feita pelo método “*pseudo-ranger*” (GEOMAG, 1996).

## 2.5 Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – PLAMG

O Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – PLAMG foi realizado nos anos de 2000 e 2001 com o objetivo de obter informações sobre o campo magnético e a emissão de radiação gama natural em áreas de maior interesse para pesquisa mineral. A área levantada representa 13,3% da superfície total do Estado de Minas Gerais. O contratante foi o Governo de Minas Gerais sob coordenação da Secretaria de Minas e Energia – SEME (incorporada a Secretaria de Desenvolvimento Econômico). A contratada foi a LASA Engenharia e Prospecções S.A..

Foram levantadas seis áreas com um total de 78.084 km<sup>2</sup> onde foram medidos 343.917 km de perfis (Figura 2.7). O espaçamento das linhas de vôo foi de 250 m e das linhas de controle de 2.500 m, a altura do vôo foi de 100 m.

Foram utilizados os aviões *Islander*, *Cessna* e *Aerocommander* com navegação por satélite. O magnetômetro utilizado foi o GEOMETRICS G-822 de bombeamento ótico, tipo vapor de césio com resolução melhor que 0,01 nT e amostragem de 10 Hz.

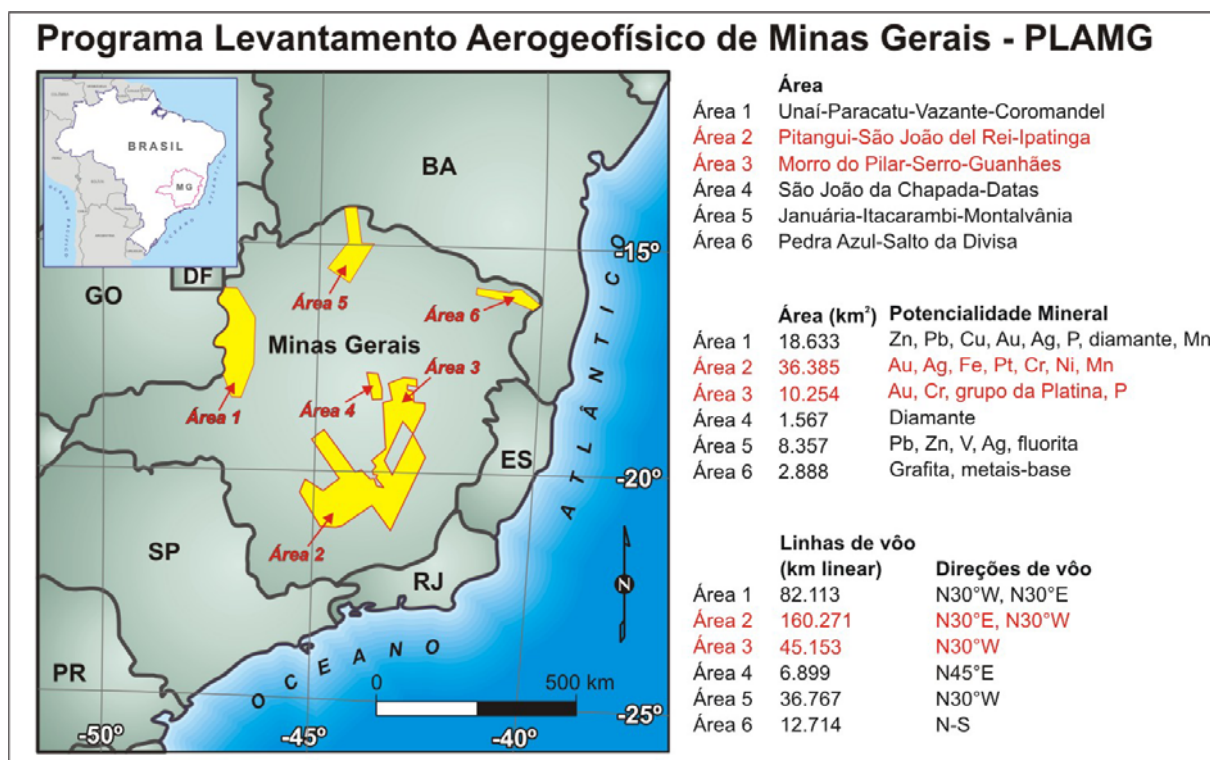


Figura 2.7 – Localização e principais características das áreas do Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – PLAMG.

### 2.5.1 Área 2 – Pitangui - São João del Rei - Ipatinga

A potencialidade mineral na região é para cromo-Cr, níquel-Ni, manganês-Mn, ouro-Au, prata-Ag, ferro-Fe e platina-Pt.

A Área 2 tem a maior superfície com 36.385 km<sup>2</sup>. Nela perfilaram-se 160.271 km lineares. A área foi levantada em dois blocos: Bloco Oeste e Bloco Leste.

O Bloco Oeste compreende uma área de 21.564 km<sup>2</sup>. A amostragem se deu ao longo de linhas de vôo orientadas N30°E e de linhas de controle orientadas N60°W. O Bloco Leste tem uma superfície de 13.611 km<sup>2</sup>. A direção das linhas de vôo foi N30°W e das linhas de controle N60°E.

No Bloco Leste o levantamento foi executado entre os meses de agosto de 2000 e março de 2001. A fase de redução e apresentação dos dados foi feita entre abril e maio de 2001. Durante o levantamento foram utilizadas duas aeronaves *Cesna*, modelo 404 – *Titan*. O gamaespectrômetro usado foi um EXPLORANIUM modelo GR-820 (LASA, 2001).

### 2.5.2 Área 3 – Morro do Pilar - Serro - Guanhães

O potencial mineral na área é para ouro-Au, cromo-Cr, elementos do grupo da platina-Pt e fósforo-P.

O levantamento da Área 3 foi realizado em 2000 pela Megafísica Survey Aerolevantamentos S/A. Tal levantamento compreendeu cerca de 49.500 km de perfis e cerca de 10.140 km<sup>2</sup> de superfície, com linhas de produção orientadas na direção N30°W e linhas de controle na direção N60°E. As cidades de Conceição do Mato Dentro, Lagoa Santa e Guanhães foram utilizadas como base para o levantamento.

O gamaespectrômetro utilizado na Área 3 foi o Picodas PGAM 1000, com 256 canais, que emprega volume dos cristais de 2.048 pol<sup>3</sup> e registra uma leitura por segundo. A amostragem da magnetometria na Área 3 foi de 70 m no terreno (Megafísica, 2001).

Os gamaespectrômetros das duas áreas têm 256 canais espectrais e medições com intervalos de 1 segundo. O detector para baixo tem dois conjuntos de cristais (NaI) de 1024 polegadas cúbicas, ou seja, um total de 2048 polegadas cúbicas. E o detector para cima tem dois cristais de 256 polegadas cúbicas, num total de 512 polegadas cúbicas (LASA, 2001; Megafísica 2001).

## **3 PROCESSAMENTO, NIVELAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS MAGNETOMÉTRICOS AÉREOS**

*“Computadores fazem arte”*

*Fred Zero Quatro*

*“Quanto mais se conhece – mais se aprecia”*

*Leonardo Da Vinci*

### **3.1 Apresentação**

O processamento dos dados seguiu etapas seqüenciais que consistiram na conversão da projeção cartográfica, no controle de qualidade, na interpolação dos dados, no teste de eficácia da interpolação, na decorrugação e na transformação linear que culminou nos produtos geofísicos. O processamento também compreendeu o nivelamento e a integração entre todos os aerolevantamentos geofísicos.

O processamento dos dados aerogeofísicos foi realizado no Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA do Instituto de Geociências – IG da Universidade de Brasília – UnB, com o programa *OASIS Montaj* da *GEOSOFT* versão 6.3 (*Geosoft*, 2006).

Os procedimentos para o processamento e integração dos dados estão mostrados nos fluxogramas das figuras 3.1 e 3.2. Na figura 3.1 estão descritas as etapas do processamento e da integração dos aerolevantamentos geofísicos com as imagens do campo magnético anômalo. Na figura 3.2 estão descritas as etapas da transformação linear do campo magnético anômalo e os produtos gerados.

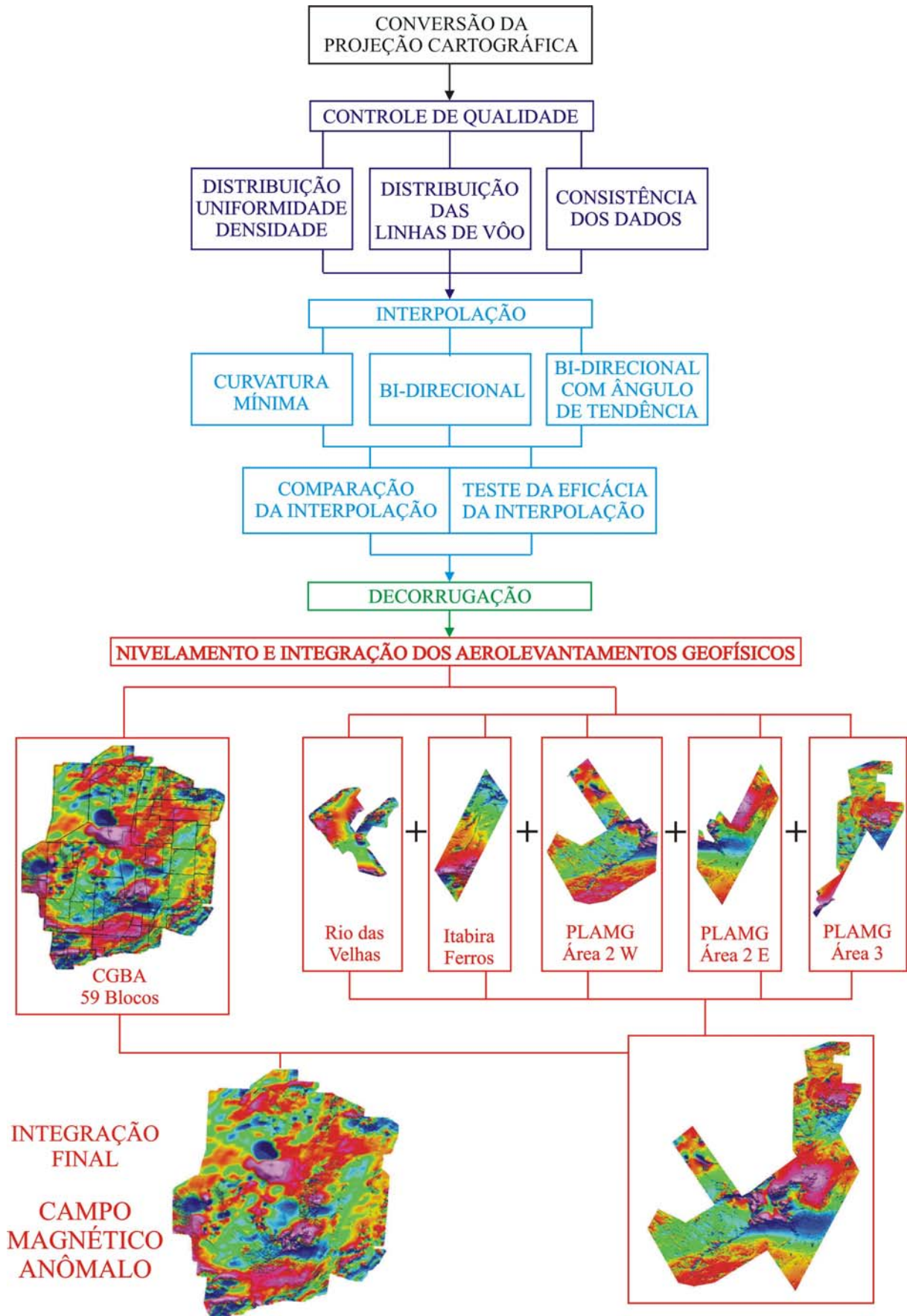


Figura 3.1 – Fluxograma com as etapas do processamento, nivelamento e integração dos dados aeromagnetométricos.

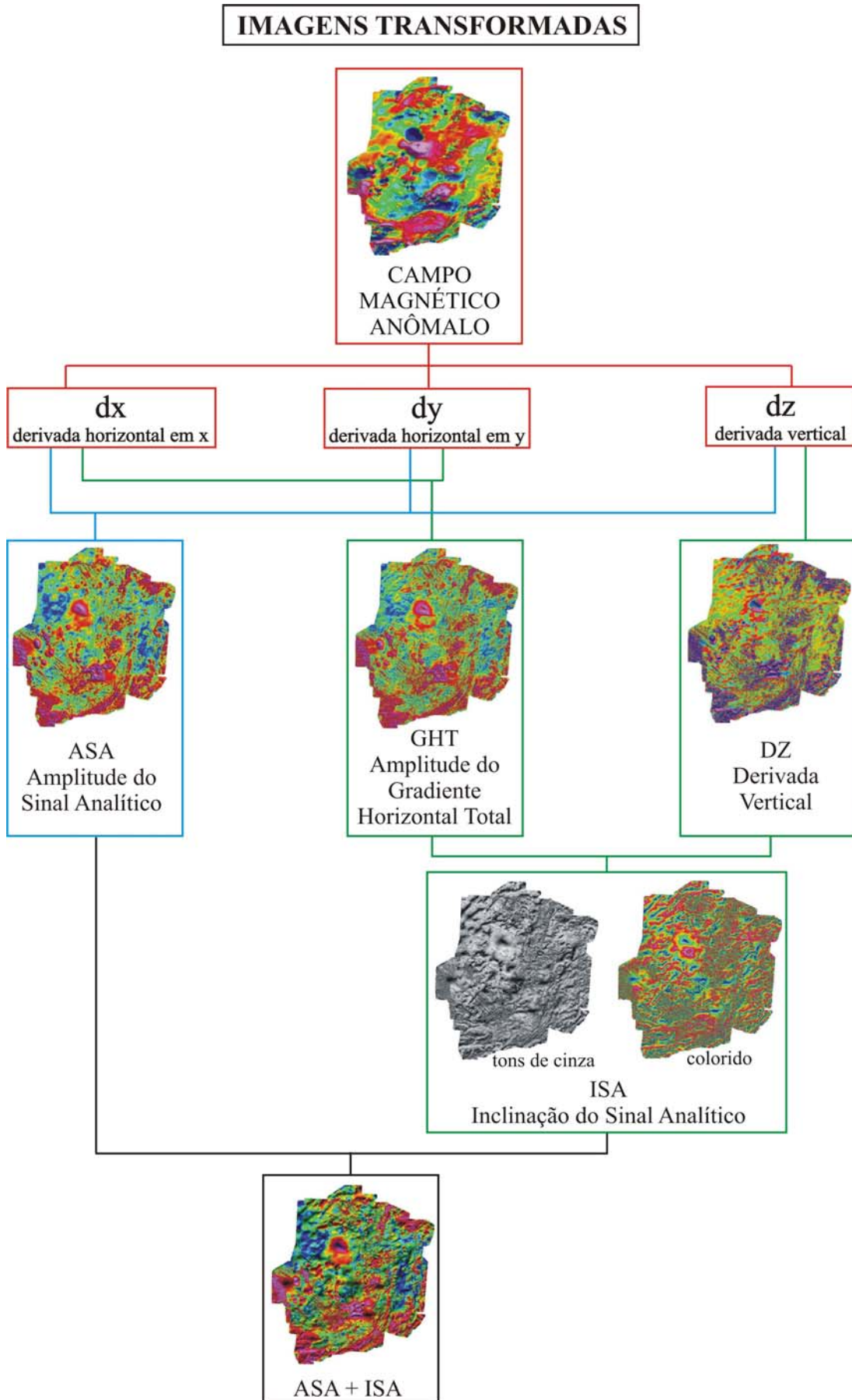


Figura 3.2 – Fluxograma com as etapas para a transformação linear das imagens magnetométricas.

### 3.2 Conversão da projeção cartográfica

A primeira etapa consistiu na conversão da projeção dos dados. Os bancos de dados dos projetos foram convertidos da projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Zona 23 S, Datum Córrego Alegre; para a projeção policônica, Datum *South American 1969 - SAD-69*. Foi utilizado o meridiano central  $54^{\circ}$  W *Gr*, que se situa no centro do Brasil. O paralelo central utilizado foi  $0^{\circ}$ , o falso leste 5.000.000, o falso norte 10.000.000, o elipsóide UGGI 1967 (GRS 1967) e a unidade de medidas em metros. No CGBA as malhas interpoladas foram convertidas para coordenadas policônicas com os mesmos parâmetros.

As projeções planas cilíndricas, como a UTM, ou a *Gauss-Kruger* não são eficientes neste caso, pois elas são recomendadas para pequenas ou médias áreas, como por exemplo, o mapeamento de uma cidade, de uma capital. O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) usa como projeção cartográfica nos seus mapeamentos a projeção policônica.

A projeção policônica é recomendada para áreas relativamente grandes, mas pode ser usada também em áreas menores, porém popularmente usam-se as cilíndricas. A projeção policônica foi utilizada por facilitar a integração de dados regionais, pois os dados do CGBA abrangem dois fusos UTM (Zonas 23 e 24). O meridiano central  $54^{\circ}$  a oeste de *Greenwich* foi escolhido para possibilitar futuras integrações com dados do Brasil, pois se localiza no centro do país.

### 3.3 Controle de qualidade

#### 3.3.1 Distribuição, uniformidade e densidade

A distribuição, a densidade, a uniformidade dos dados e as relações entre os pontos na superfície bidimensional foram analisados.

O padrão dos dados pode ser considerado regular, com diferentes densidades na direção das linhas de vôo e na direção das linhas de controle para cada um dos levantamentos.

A regularidade está ao longo das linhas de vôo paralelas, que estão com espaçamento regular para cada um dos levantamentos. Os levantamentos RV e PLAMG têm espaçamento das linhas de vôo regular de 250 m e o levantamento IF de 500 m. Portanto, na junção dos dados destes aerolevantamentos a distribuição espacial da amostragem é considerada regular para a escala trabalhada. O que não acontece em relação ao levantamento do CGBA, que tem



espaçamento de 2 km, e conseqüentemente, uma grande diferença na regularidade dos dados e nos resultados obtidos.

A densidade da amostragem é muito maior na direção da linha de vôo que na direção das linhas de controle. O conjunto de dados é uniforme com a densidade de pontos na direção da linha de vôo igual à densidade de pontos em todas as outras linhas de vôo para cada um dos levantamentos. A diferença no intervalo de amostragem magnetométrica de 5 m no RV e 8 m no PLAMG para 60 m no IF, representa pouca perda de densidade nos resultados na escala trabalhada. Apesar do CGBA também ter intervalo de 60 m, a perda de densidade se dá por causa da grande diferença no espaçamento das linhas de vôo e ao fato de se tratar de vôos à altitude constante continuados a 1000 m de altura.

Na direção das linhas de controle a diferença entre os espaçamentos é 2,5 km no PLAMG, 5 km no RV, 12 km no IF e de 14 a 20 km no CGBA. Esta diferença não influencia na distribuição, pois a densidade e a uniformidade nas linhas de controle é pequena em relação a grande densidade nas linhas de vôo para cada aerolevanteamento.

A uniformidade na altura de vôo foi considerada boa para os projetos RV, PLAMG e IF com 60 m, 100 m e 150 m respectivamente. A altura de vôo de 350 m no CGBA foi muito maior e levou a uma grande diferença na amplitude dos dados magnéticos. Os levantamentos foram voados a altura constante sobre o terreno, e no CGBA foram voados diversos blocos em altitudes constantes. Estas distâncias diferentes do sensor em relação à superfície do terreno levaram a divergências na amplitude dos dados magnéticos do CGBA.

No CGBA, a locação de cada ponto de medição foi feito por interpolação linear entre outros recuperados a partir dos registros analógicos da trajetória sobrevoada obtidos dos filmes de 35 mm registrados por câmaras de rastreamento, já que a navegação foi visual sobre mapas plani-altimétricos (CPRM, 1972). Este controle antigo leva a imprecisões no posicionamento dos dados.

Nos outros aerolevanteamentos foram utilizados equipamentos modernos, como o GPS acoplado ao rastreador de satélites TANS. Estes equipamentos garantem um bom posicionamento e uma grande qualidade na distribuição espacial dos dados.

### 3.3.2 Distribuição das linhas de vôo

O mapas das linhas de vôo foram plotados para se verificar a distribuição em malha regular.



No PLAMG, o padrão das linhas de vôo só teve desvios eventuais (Figuras 3.3 a 3.5). Como exemplo estatístico, na Área 2 Bloco Leste das 7.100 linhas de vôo, apenas 30 tem pequenos desvios, o que representam apenas 0,4 % das linhas (Figura 3.4). Isto se deve ao fato do levantamento ser recente e ter utilizado o sistema de navegação GPS/Picodas/Novatel/Racal que é de última geração e precisão.

Nos levantamentos RV e IF foram utilizados os sistemas de navegação GPS e TANS II. Os desvios foram pouco maiores que no PLAMG e não afetaram de forma significativa os dados levantados.

O CGBA teve muitos desvios nas linhas do levantamento por ter sido realizado com navegação visual, e assistido por sistemas de navegação *Doppler*.



Figura 3.3 – Detalhe com os eventuais desvios nas linhas de vôo no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste. Espaçamento das linhas de vôo de 250 m.

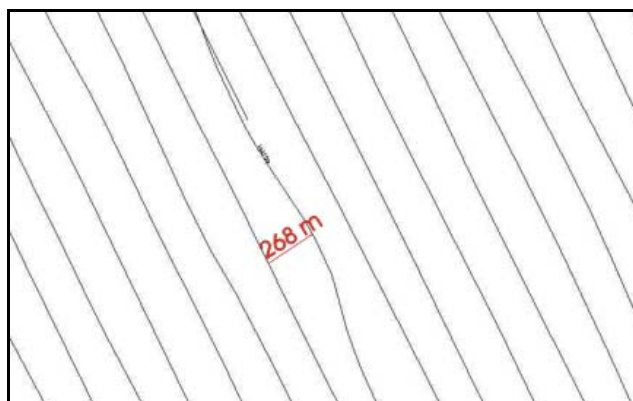


Figura 3.4 – Detalhe das linhas de vôo do levantamento PLAMG Área 2 Bloco Leste com um desvio que ficou com um espaçamento de 268 m, 18 m maior que o planejado de 250 m.

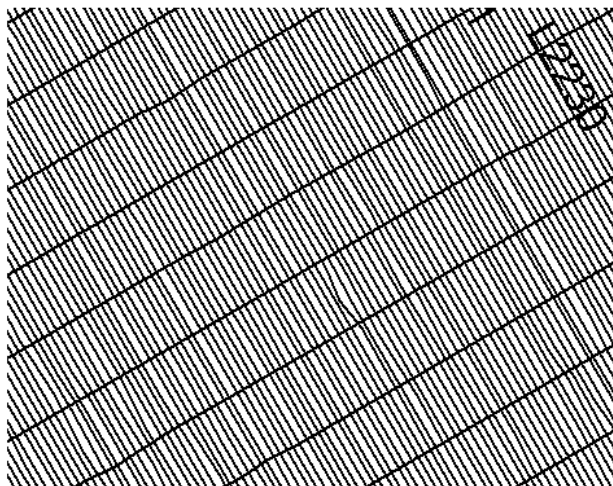


Figura 3.5 – Detalhe com os eventuais desvios nas linhas de vôo no levantamento PLAMG Área 3. Espaço das linhas de vôo de 250 m.

### 3.3.3 Consistência dos dados

Os dados foram analisados e avaliados para se verificar a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” (*nuggets*) ou picos (*spikes*), e quanto à distribuição das linhas de vôo. A derivada de quarta ordem, aproximada por diferenças finitas, foi utilizada para identificar as inconsistências (Figura 3.6). Esta derivada de quarta ordem ressalta os sinais de alta frequência. Com isso pode ser definido um “envelope” de significância do sinal medido. A análise do “envelope” permite identificar o que é ruído do sinal medido para serem efetuadas as correções.

Nos levantamentos RV, IF e PLAMG poucos dados foram identificados como ruído do sinal medido e corrigidos para o limite de significância (Figuras 3.7 a 3.10).

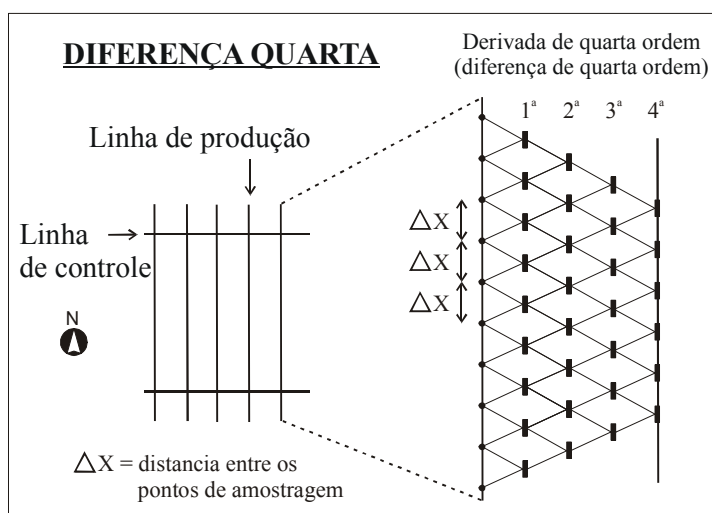


Figura 3.6 – Representação esquemática da diferença de quarta ordem.

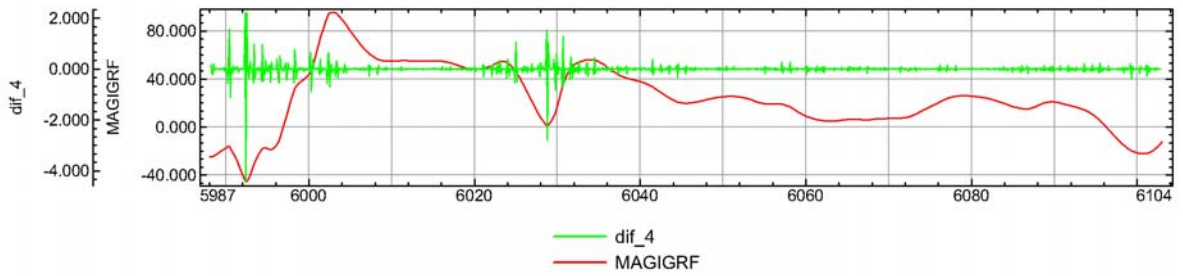


Figura 3.7 - Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste.

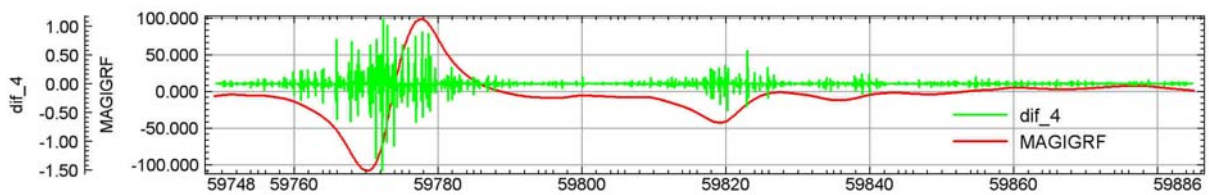


Figura 3.8 - Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 2 Bloco Leste, linha de vôo 220050.

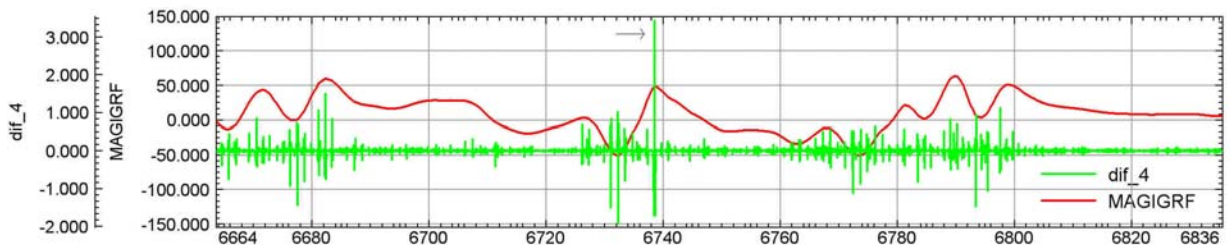


Figura 3.9 - Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 3, linha de vôo 330. Indicado pela seta observa-se um pico.

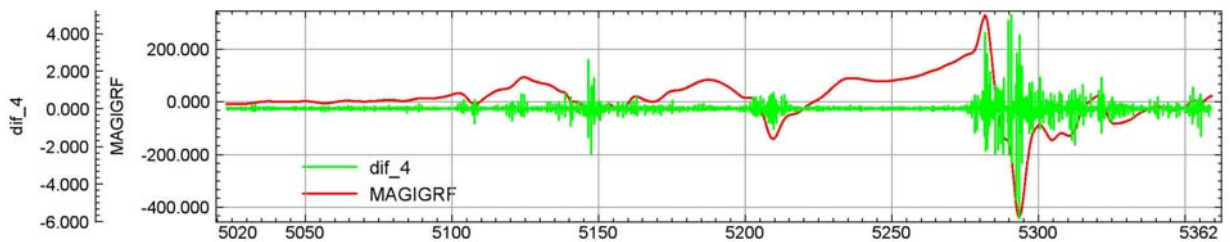


Figura 3.10 - Comparação dos perfis dos dados magnéticos medidos (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde) no levantamento PLAMG Área 3, linha de vôo 830.

### 3.4 Interpolação

O processamento para gerar uma malha regular é a interpolação dos dados medidos ao longo dos perfis para se determinar valores nos nós ou vértices da malha. O método de interpolação mais adequado é escolhido em função da distribuição e da natureza dos dados medidos.

A definição da célula foi feita pela análise visual dos mapas e análise comparativa de perfis tirados da malha com os medidos, para verificar se não havia perda no conteúdo de informação de alta frequência e falseamento (*aliasing*), este último é a incorporação de frequências espaciais mais altas sem solução nas frequências mais baixas. Essas frequências altas, cujos comprimentos de onda são menores que duas vezes o espaçamento entre os pontos amostrados, não podem ser detectadas (Blakely, 1996). Vasconcelos *et al.* (1990) sugerem que para linhas orientadas a célula de interpolação deve ficar entre 1/4 a 1/8 do espaçamento médio entre as linhas de vôo.

Estes tamanhos de célula foram testados para analisar qual a melhor resolução para a frequência espacial da amostragem de cada levantamento. Os detalhes da resolução espacial são identificados nos sinais de alta frequência.

Nos projetos PLAMG e RV foi utilizada célula de 100 m, que é um pouco menos da metade do espaçamento das linhas de vôo. No IF a célula foi de 100 m, que é 1/5 do espaçamento. Foi utilizada a mesma célula para ter o mesmo número de pontos de malha nas direções x e y, e padronizar os dados para a integração dos aerolevantamentos. O tamanho da célula utilizada para interpolar o banco de dados do CGBA foi de 500 m, 1/4 do espaçamento das linhas de vôo.

Os algoritmos interpoladores utilizados foram o de curvatura mínima, o bi-direcional e o bi-direcional com ângulo de tendência, com controle de fidelidade dos dados originais para a interpolação em malhas regulares quadráticas.

#### 3.4.1 Curvatura Mínima

O método de curvatura mínima faz com que os valores fiquem o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada (Keckler, 1994; *Geosoft*, 1995). Tem a vantagem de ser rápido e eficiente para conjuntos de dados grandes com mais de 1000 amostragens. A superfície é semelhante a uma placa elástica delgada deformada para justificar os dados interpolados com uma flexão mínima (Keckler, 1994).

### 3.4.2 Bi-direcional

O método bi-direcional é indicado para interpolar dados que estejam distribuídos em linhas de amostragem aproximadamente paralelas. Este método é rápido para dados distribuídos desta forma e tende a intensificar tendências perpendiculares às direções das linhas do levantamento. Tem como vantagem a possibilidade de processar um grande número de dados e como desvantagem não ser aproveitável em dados com distribuição aleatória. Este método considera a diferença de densidade nas duas direções do levantamento.

O processamento é feito a partir da interpolação de um *Spline* cúbico ao longo dos perfis de medida com a determinação dos valores dos espaçamentos estipulados para a malha. Em seguida é feita a interpolação na direção perpendicular a estas, apoiada nos valores interpolados para gerar o restante da malha.

### 3.5 Comparação dos resultados da interpolação

Foram criados mapas com malhas interpoladas pelos métodos da curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência. Para as comparações foram utilizados os produtos da amplitude do sinal analítico pois são transformações nas derivadas em x, y e z que evidenciam qualquer problema existente nos produtos.

O sombreamento e a iluminação foram colocados perpendicular às linhas de vôo para evidenciá-las. A direção da iluminação, utilizada em azimute, foi de 0° para o CGBA, 50° para o IF, 120° para a Área 2 Bloco Oeste, e 60° para a Área 2 Bloco Leste e Área 3 do PLAMG. A inclinação da iluminação foi de 45° para todos.

Com exceção do CGBA, o método bidirecional com ângulo de tendência foi o que melhor interpolou as malhas (Figuras 3.11 a 3.14). Na figura 3.11 observamos uma área com sinais de alta frequência das formações ferríferas bandadas – BIF na Região de Itabirito.



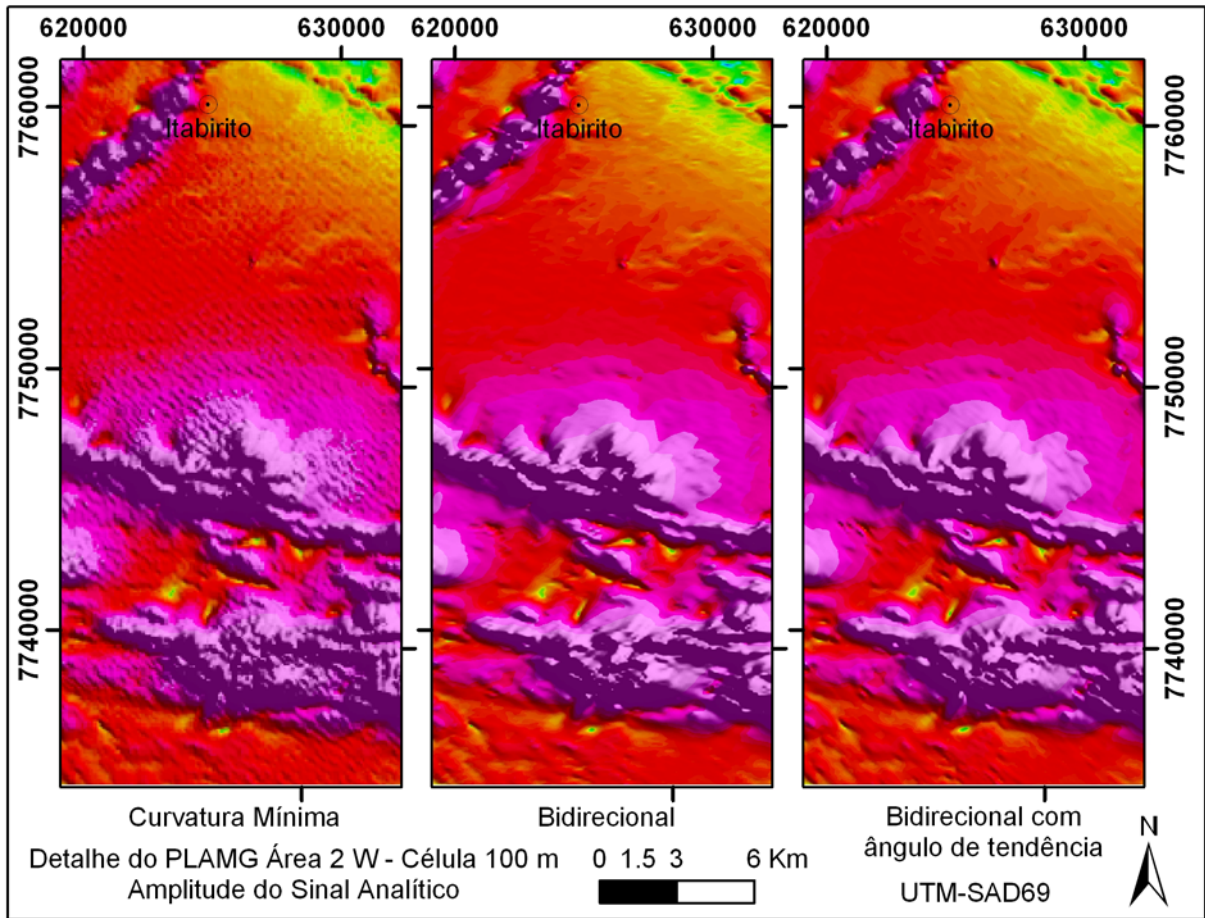


Figura 3.11 – Comparação visual dos métodos de interpolação, da esquerda para a direita: curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência. Levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste na Região de Itabirito.

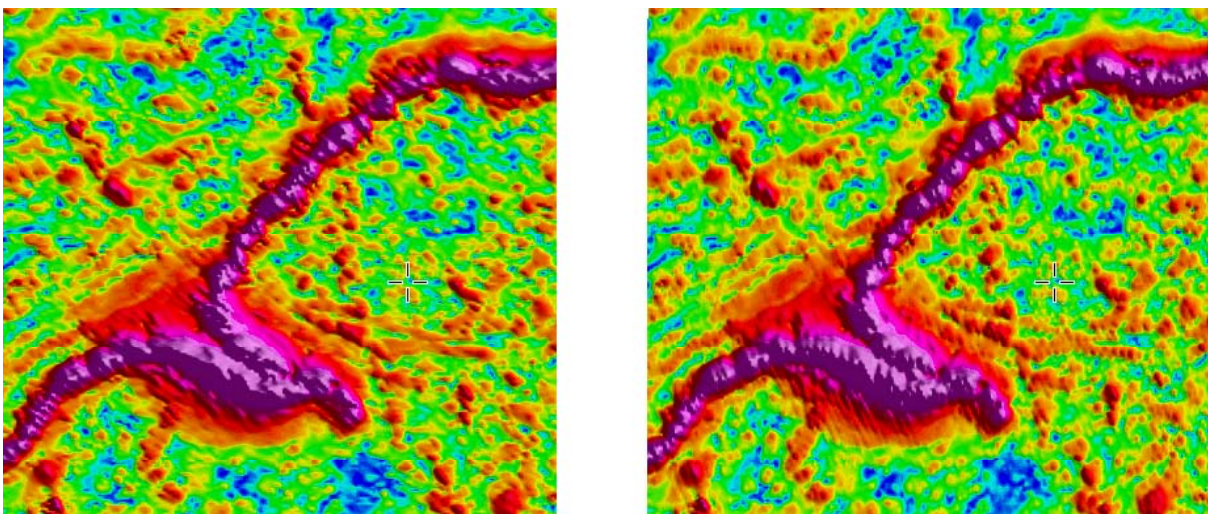


Figura 3.12 – Comparação visual dos métodos de interpolação bi-direcional (esquerda) e curvatura mínima (direita). Mapa da amplitude do sinal analítico com célula de 100 metros.

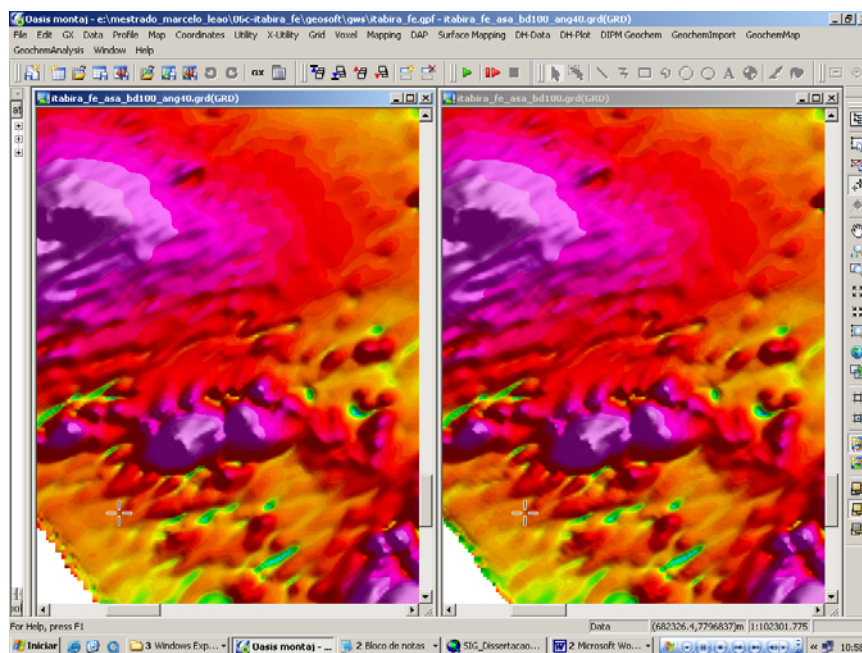


Figura 3.13 – O resultado da interpolação bi-direcional com ângulo de tendência à esquerda e sem ângulo de tendência, com influência das linhas de vô, à direita. Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira-Ferros).

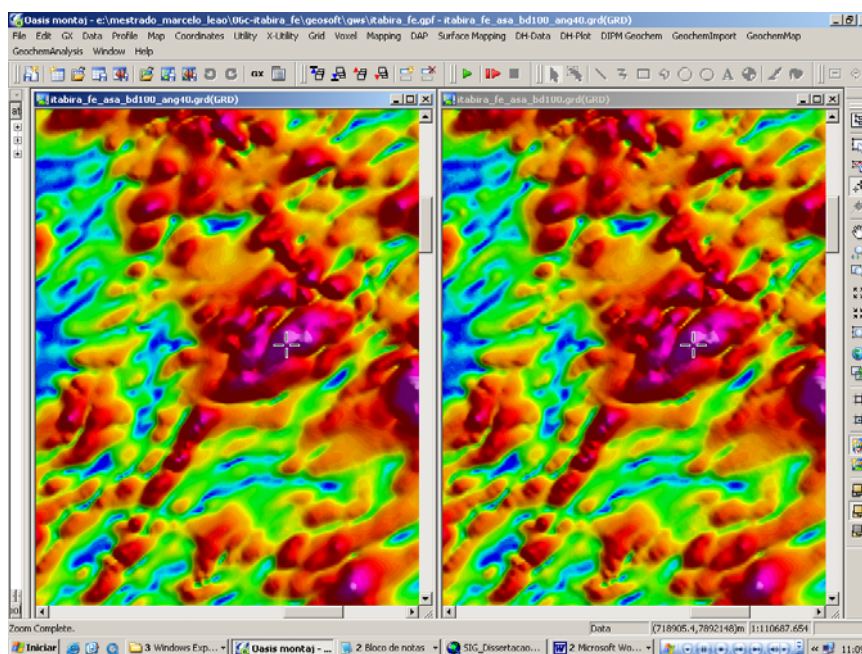


Figura 3.14 – O resultado da interpolação bi-direcional com ângulo de tendência à esquerda e sem ângulo de tendência, com influência das linhas de vô, à direita. Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira-Ferros).

O método bidirecional com ângulo de tendência teve os melhores resultados pois é utilizado para evidenciar feições geológicas nas direções especificadas. Como nestes aerolevantamentos as linhas de vô estão aproximadamente perpendiculares às tendências regionais das feições geológicas, os ângulos de tendência usados, foram aqueles de direção perpendicular às linhas de vô.

O ângulo de tendência é medido a partir do eixo x no sentido anti-horário. No Projeto IF o ângulo de tendência foi de  $40^\circ$ , na Área 2 Bloco Oeste do PLAMG o ângulo foi  $150^\circ$ , na Área 2 Bloco Leste e Área 3 do PLAMG o ângulo foi  $30^\circ$  (Figura 3.15).

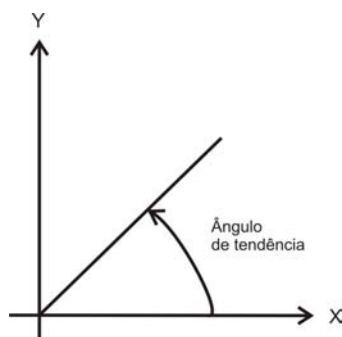


Figura 3.15 – Ângulo de tendência.

Os mapas com interpolação bidirecional e com diferentes tipos de *splines* foram comparados. As interpolações *Linear-Akima* e *Akima-Akima* (Geosoft, 1998) ficaram praticamente idênticas e melhores que as outras. Os *Splines* utilizados para interpolação foram *Akima-Akima*, para *Spline* ao longo dos perfis e *Spline* perpendicular às linhas de vôo.

No Projeto CGBA foram testados qual tamanho de célula e método interpolador definiam uma melhor resolução espacial. A análise dos sinais de alta frequência pode revelar estes detalhes. A análise do banco de dados de uma área onde o relevo magnético é bem movimentado e com muitos valores de alta frequência na região do Quadrilátero Ferrífero foi utilizado na definição da melhor interpolação. A interpolação foi feita em todos os blocos individuais e nos dados da *PGW* e *WMC*.

Foi utilizado como interpolador o método de curvatura mínima, principalmente por sua característica que é o de determinar uma superfície que melhor define os valores amostrados. Além disso amenizou problemas com assinaturas em direções diferentes da amostragem leste-oeste e problemas existentes na digitalização dos dados analógicos.

### 3.6 Teste da eficácia da interpolação

Foi feita a amostragem das malhas no banco de dados para os três métodos interpolados: curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência. Posteriormente foram criados os perfis das linhas de vôo. Os perfis foram comparados com os dados medidos para se decidir qual o método foi mais eficaz.

O método bi-direcional com ângulo de tendência foi o escolhido para o processamento porque os valores ficaram mais fiéis e próximos do dado medido (Figuras 3.16 a 3.18).



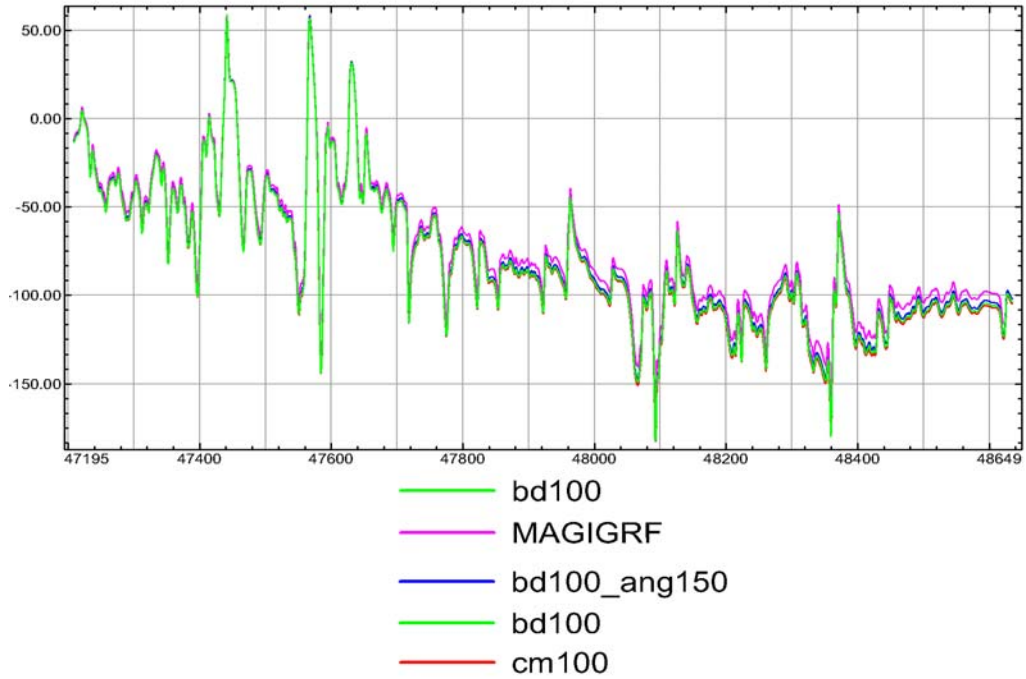


Figura 3.16 - Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Perfis de uma linha de vôo do levantamento PLAMG Área 2 Bloco Oeste para cada método de interpolação e dos dados medidos. Dado medido (roxo), curvatura mínima (vermelho), bi-direcional (verde) e bi-direcional com ângulo de tendência (azul).

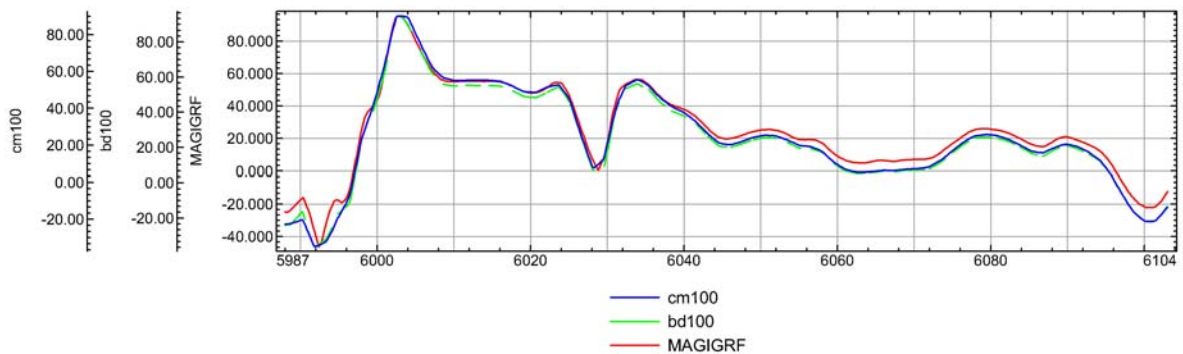


Figura 3.17 - Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Perfis de uma linha de vôo do levantamento PLAMG Área 3 para cada método de interpolação e dos dados medidos. Dado medido (vermelho), curvatura mínima (azul) e bi-direcional com ângulo de tendência (verde).

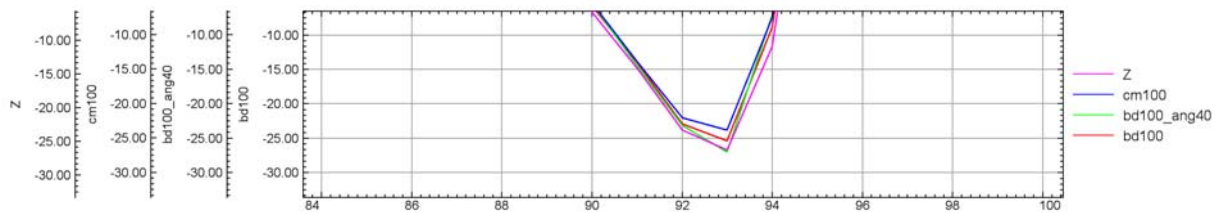


Figura 3.18 – Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Detalhe dos perfis da linha de vôo 773 do levantamento IF para cada método de interpolação e dos dados medidos. Dado medido (roxo), curvatura mínima (azul), bi-direcional (vermelho) e bi-direcional com ângulo de tendência (verde).

### 3.7 Decorrugação

A decorrugação torna-se necessária para retirar imperfeições não totalmente corrigidas pelo nivelamento durante o levantamento dos dados medidos.

Mesmo depois do nivelamento das malhas de amostragem ficam erros residuais aparentes que tornam a imagem ruim e encobrem informações sutis importantes que podem ser removidas com o micronivelamento (Luyendyk, 1997).

A técnica utilizada foi o micronivelamento. Trata-se de um algoritmo de filtragem seletiva empregado ao longo das linhas de produção e transversalmente para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Com a filtragem tenta-se separar efeitos do desnivelamento verificado nos cruzamentos entre linhas de produção e de controle.

A tendência das linhas de vôo ficam demarcadas nas imagens, como observado nas figuras 3.19-a, 3.20-a e 3.21-a. O algoritmo usado foi proposto por Minty (1991). A partir desta técnica foi desenvolvido o algoritmo *Microlevel* (Blum, 1999).

Este *script* foi criado para o programa *Oasis Montaj* (Geosoft, 2006) que faz essas etapas automaticamente como um filtro espacial, trabalha sobre uma cópia da malha original, e cujo comportamento é ditado pelo número de vezes em que é enciclado: quanto maior, mais próximo de um filtro passa - baixa ele se comporta. Este número de vezes é calculado, inicialmente para o passa - baixa, com a divisão de duas vezes o espaçamento entre as linhas de controle pelo tamanho da célula da malha em correção. Para o passa - alta, com a divisão de duas vezes o espaçamento entre as linhas de produção (perfis de amostragem) pelo tamanho da mesma célula.

Os bancos de dados dos projetos foram rotacionados para que as linhas de vôo ficassem com direção norte-sul para a aplicação do algoritmo de micronivelamento. O algoritmo aplica filtros simples e diferentes na direção da linha de vôo e da linha de controle. A técnica consiste nos seguintes procedimentos:

- 1- Em uma primeira malha é aplicado um filtro passa-alta perpendicularmente às linhas de vôo, a resposta é armazenada em uma segunda malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo o espaçamento entre as linhas de controle;

- 2- Na segunda malha é aplicado um filtro passa-baixa na direção da linha de vôo, a resposta é armazenada em uma terceira malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo duas vezes o espaçamento das linhas de vôo;

- 3- A terceira malha corrigida é subtraída da primeira malha para se obter a malha final.

O micronivelamento se mostrou extremamente eficiente no nivelamento dos dados dos cinco aerolevantamentos (Figuras 3.19-b, 3.20-b e 3.21-b).

Todas as etapas da decorrução foram realizadas para cada um dos levantamentos para se obter a melhor filtragem. Foram gerados diversos mapas com os mais diferentes filtros e combinações.

Os melhores resultados foram obtidos com comprimentos de onda de 10.000 metros no filtro passa alta e 50.000 metros no filtro passa baixa para a Área 2. O comprimento de onda de 50.000 m foi utilizado no filtro passa alta e 10.000 m no filtro passa baixa para a Área 3 do levantamento PLAMG. No CGBA o passa alta foi de 56.000 m e o passa baixa 72.000 m. É importante salientar que a interpolação pelo método bidirecional com ângulo de tendência filtrou boa parte dos erros residuais aparentes, que ficaram apenas em alguns locais de sinais de alta frequência como mostrado nas figuras 3.19-a, 3.20-a e 3.21-a.

Para analisar a efetividade do micronivelamento essas diversas combinações foram amostradas e os perfis foram comparados à situação antes de sua aplicação. Também foram analisadas pelas imagens da amplitude do sinal analítico mais sensíveis a este tipo de problema por ser um filtro passa-alta que usa derivadas. As combinações que ficaram mais fiéis aos dados e não mostraram marcas das linhas de vôo foram às citadas acima.

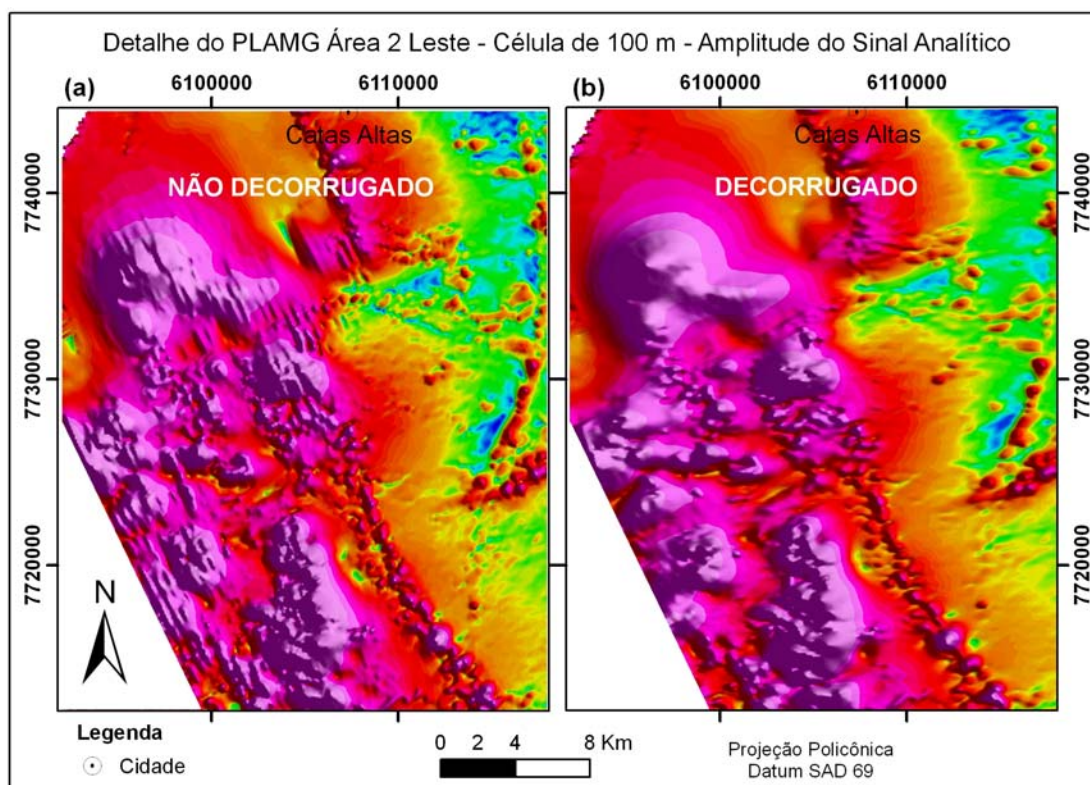


Figura 3.19 – Decorrução do PLAMG Área 2 Bloco Leste, mapa da amplitude do sinal analítico.  
(a) Mapa sem filtragem (b) Mapa filtrado.



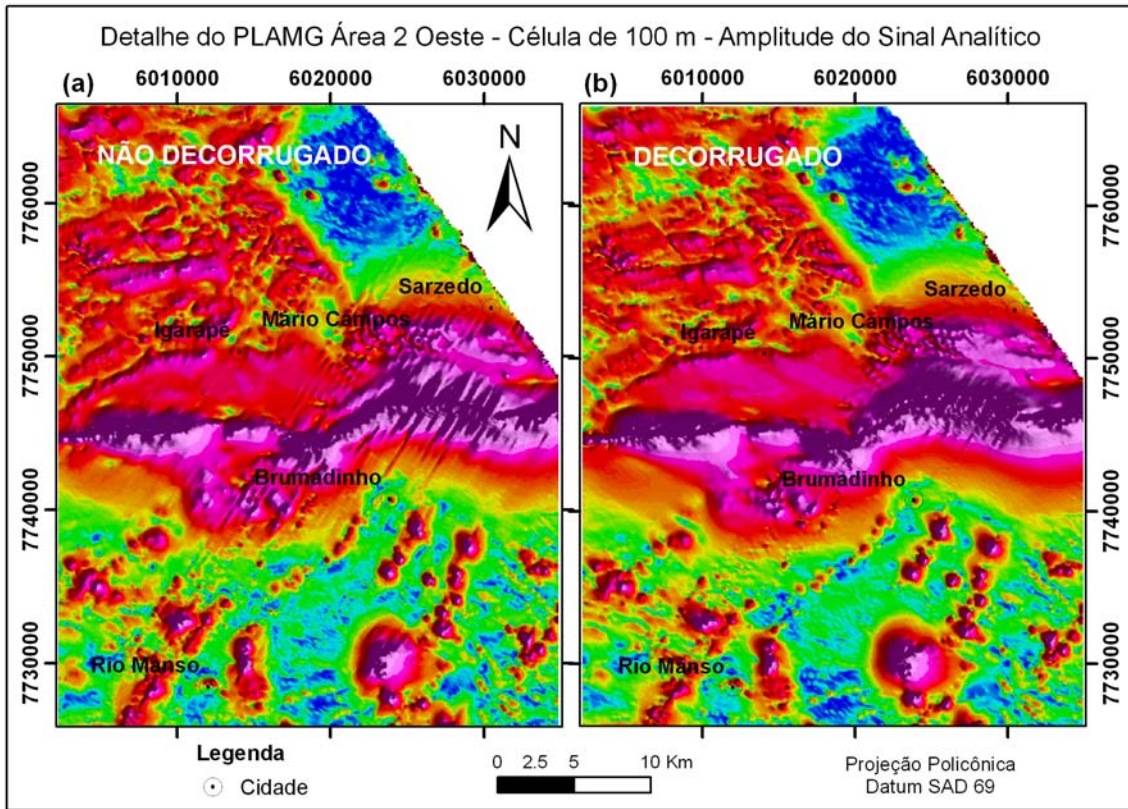


Figura 3.20 – Decorrugação do PLAMG Área 2 Bloco Oeste, mapa da amplitude do sinal analítico. (a) Mapa sem fitragem (b) Mapa filtrado.

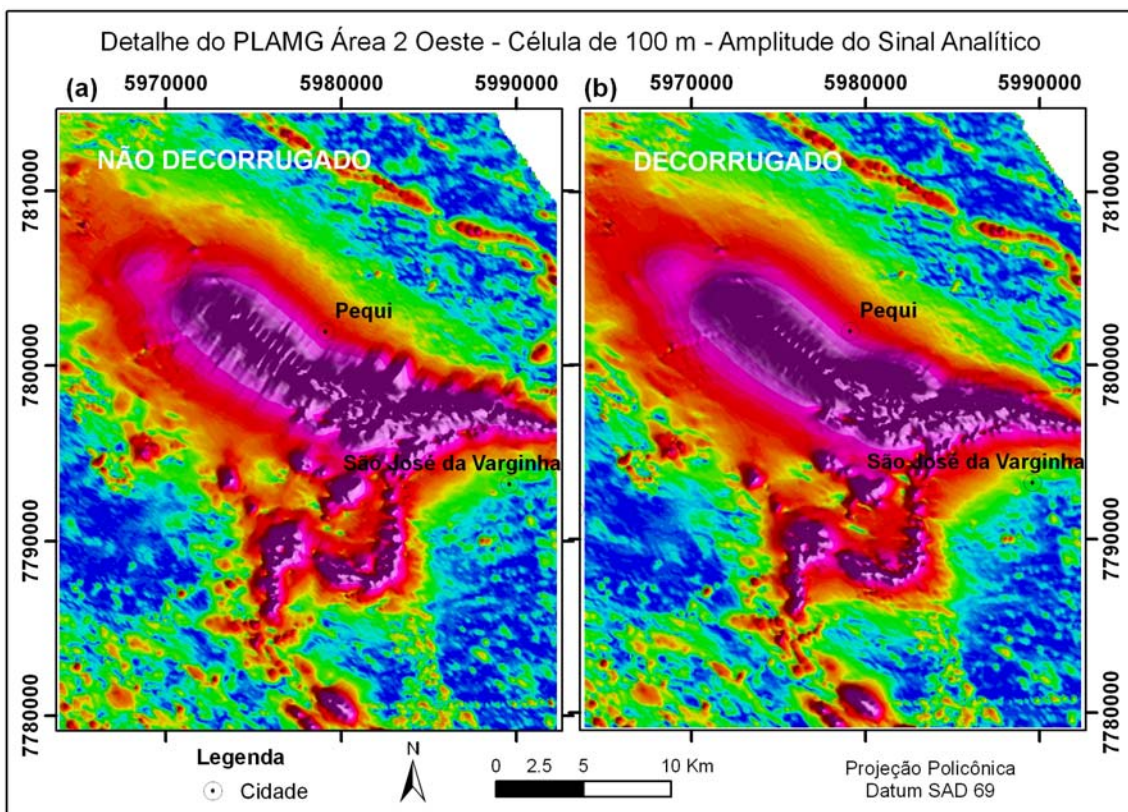


Figura 3.21 – Decorrugação do PLAMG Área 2 Bloco Oeste, mapa da amplitude do sinal analítico. (a) Mapa sem fitragem (b) Mapa filtrado.

### 3.8 Nivelamento e integração dos levantamentos aerogeofísicos

A integração dos levantamentos aerogeofísicos consistiu na sutura de blocos de dados adquiridos em épocas distintas, com técnicas, métodos, plataformas e tecnologias diferentes.

A primeira integração foi realizada nos dados do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA) com a junção de 59 blocos do projeto.

Depois foram integrados os levantamentos do Projeto Rio das Velhas (RV), do Projeto Gemas de Minas Gerais - Faixa Itabira-Ferros (IF) e do Programa Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais (PLAMG) – Área 2 Blocos Oeste e Leste, e Área 3.

O processamento dos dados aerogeofísicos do RV foi realizado por Silva (1999) e refinados por Fuck (2001).

Devido a grande diferença nas frequências espaciais para o campo magnético representado nos dados do CGBA em relação aos demais levantamentos, o CGBA foi utilizado como uma espécie de plano de fundo para permitir a visualização da continuidade das grandes estruturas e feições magnéticas.

Foram usados dois métodos de costura de malhas diferentes: o método mistura ou combinação, e o método da sutura.

#### 3.8.1 Método Mistura ou Combinação (*Blend*)

O método da mistura usa uma função de combinação sobre a área de sobreposição entre duas malhas de modo que a transição de uma à outra seja suave. As malhas além das regiões da sobreposição permanecem sem mudanças, com exceção da remoção opcional de uma compensação ou de uma tendência estática. A função mistura determina o peso de uma malha em relação à outra dentro da região de sobreposição. Trabalha com a proximidade relativa das bordas das duas malhas para cada posição calculada; por exemplo, se uma posição for equidistante entre ambas as bordas, seu valor é a média dos valores da malha encontrados nesse ponto. Uma função cosseno que varia suavemente de 0 a 1 é usada, assume um valor de 0.5 em posições a meio caminho entre duas malhas, e cuja derivada se aproxima de 0 em ambas as extremidades (*Geosoft*, 2006).

Pontos Singulares:

Onde as bordas da malha #1 e da malha #2 se cruzam em um único ponto, o esquema de mistura quebra para baixo, desde que pela definição ambas as malhas tenham pontos cheios. Neste caso é usada a média dos dois valores das malhas no ponto (*Geosoft*, 2006).

### 3.8.2 O Método da Sutura (*Suture*)

O método da sutura define uma linha para juntar as duas malhas. A linha, inevitavelmente, encontra-se dentro da área de sobreposição das duas malhas. As seções de “interrupção” da malha não têm nenhuma contribuição à malha final. Ao longo da linha da sutura, a má combinação nos valores da malha deve ser corrigida com o ajuste das malhas em um ou outro lado do trajeto; por exemplo, se, em um ponto no trajeto da sutura, o valor para a malha #1 fosse 1.0 maior do que o valor para a malha #2, a discrepância poderia ser eliminada com o uso do valor médio. Os pontos adjacentes ao ponto do trajeto puderam então ser ajustados para produzir uma transição suave entre as duas malhas. Nesta rotina, uma aproximação multi-frequência é usada, de modo que as correções sejam espalhadas sobre as duas malhas em proporção ao comprimento de onda da má combinação encontrada ao longo do trajeto da sutura. Isto assegura que a transição de uma malha à outra permaneça suave (*Geosoft, 2006*).

#### Trajeto da Sutura:

As opções são bordas automáticas, interativas, da malha #1 e da malha #2. Se a opção automática for selecionada, a linha da sutura divide em duas partes iguais a região da sobreposição; cada ponto ao longo da linha estará na distância aproximadamente igual das beiras da região da sobreposição (*Geosoft, 2006*).

### 3.8.3 Remoção da tendência

#### Ordem da tendência

Antes da costura, um deslocamento ou uma tendência estática pode ser removida de uma ou das duas malhas. A correção de zero ordem ou estática removem um único valor médio para a malha inteira. A correção de primeira ordem remove um plano inclinado de melhor encaixe aos dados. Ordens mais elevadas ajustam polinômios de segunda ou terceira ordem em X e Y (*Geosoft, 2006*).

#### O uso de pontos (valores) da malha:

O cálculo para a correção pode ser feito com o uso de pontos (valores) da malha em uma de quatro maneiras: (i) com o uso de todos os pontos da malha, (ii) com o uso dos pontos da borda, (iii) somente com o uso dos pontos que sobrepõem a outra malha, (iv) ou somente com o uso dos pontos da borda que sobrepõem a outra malha (*Geosoft, 2006*).



## 3.8.4 Nivelamento e integração do CGBA

A base de dados utilizada para a integração foram às digitalizações realizadas pela *Paterson, Grant and Watson Ltda. (PGW)* e pela *Western Mining Company (WMC)* por ocasião da elaboração, pela PGW, do Projeto Mapa Aeromagnético da América do Sul - *South American Magnetic Mapping Project - SAMMP* (Monteiro, 2002). As digitalizações foram feitas nos mapas originais de contorno do campo magnético anômalo na escala 1 : 100.000 em arquivos texto tipo x, y, z.

Do total de 59 blocos, 38 blocos foram digitalizados pela *PGW* e 21 blocos pela *WMC* (Monteiro, 2002) (Figura 3.22).

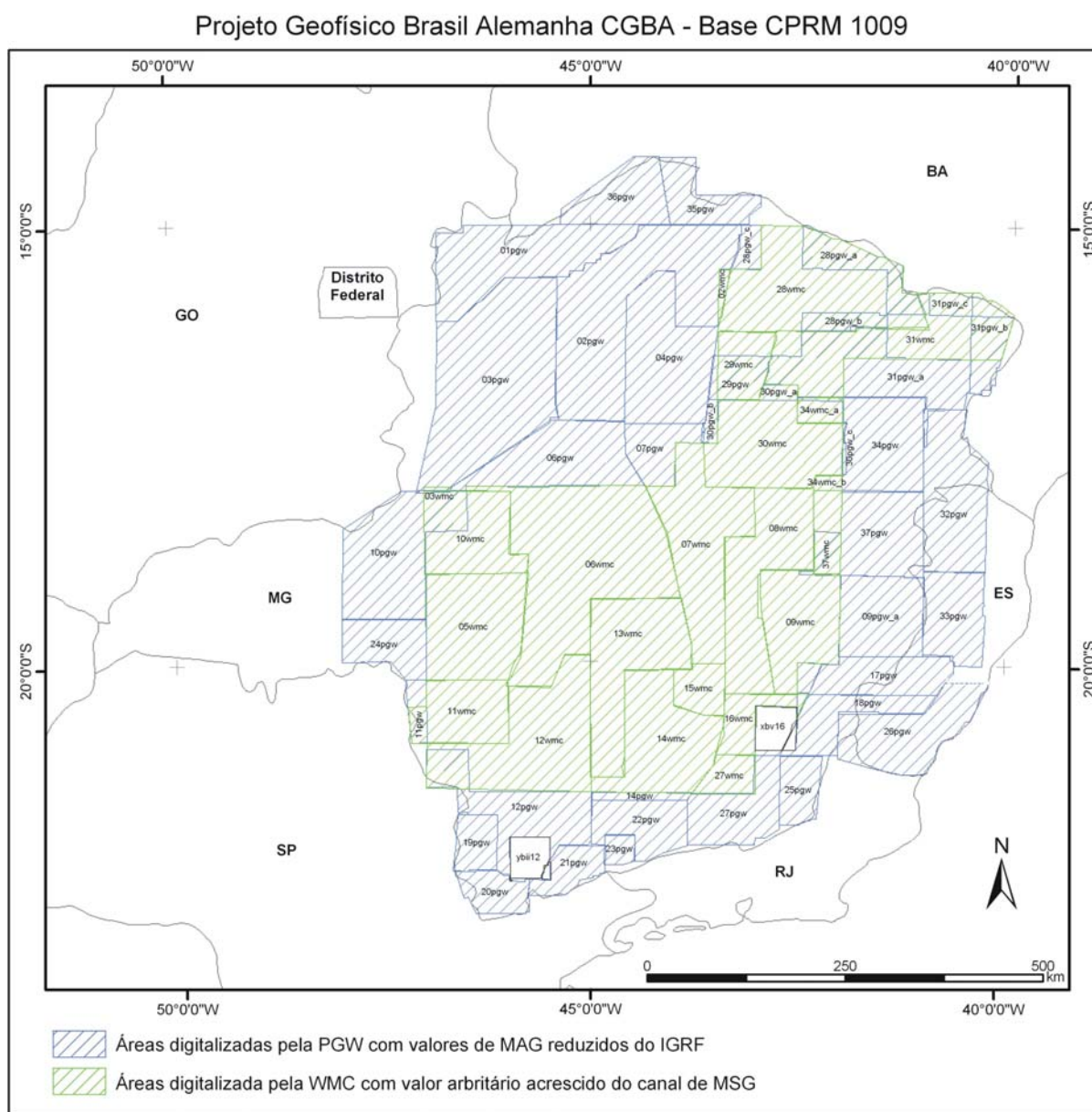


Figura 3.22 – Articulação dos blocos digitalizados pela *PGW* e *WMC*. Coordenadas planas em Mercator Equatorial (Monteiro, 2002).

Foram criadas as malhas para todos os blocos, e para os dados digitalizados pela *WMC* e pela *PGW* (Figura 3.23). Depois foram unidos pela costura de malhas com o método da Sutura.

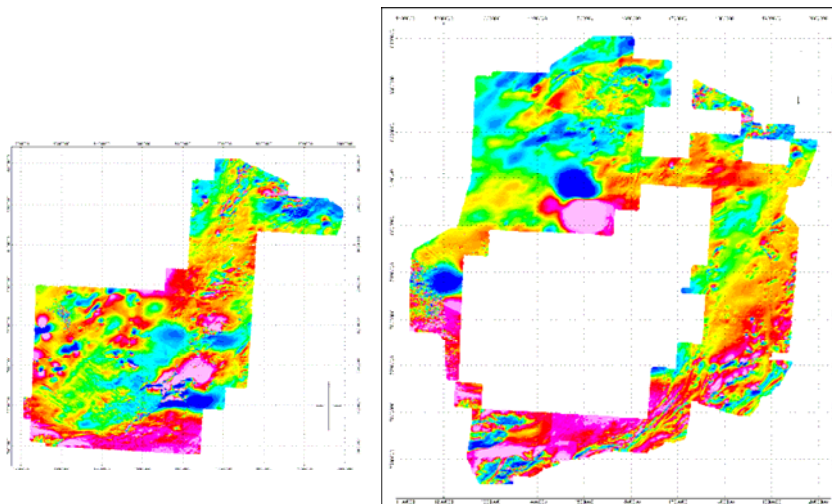


Figura 3.23 – Bloco das junções parciais digitalizado pela *WMC* (esquerda) e pela *PGW* (direita).

Foi observado que os blocos estavam desnivelados com a cicatriz da junção entre eles na imagem do campo anômalo.

Na interpolação, foram testados graus de tensão interna 0, 0.25, 0.50, 0.75 e 1. O grau escolhido foi o padrão com nenhuma tensão (0), que produz uma malha mínima verdadeira da curvatura. A tensão crescente pode ser usada para impedir tendenciamentos falsos (*overshooting*) de dados válidos em áreas escassas, embora a curvatura na vizinhança de dados reais aumente.

Para se descobrir o valor arbitrário acrescido nos dados da *WMC* foi tentado calcular as médias de cada levantamento. Foram observadas as médias de cada bloco da *PGW* e da *WMC*, estavam muito diferentes e variavam de forma aleatória, o que impediu de se ter uma média para cada levantamento.

As malhas de cada bloco foram reinterpoladas com o mesmo tamanho de célula de 500 metros. Como os blocos não têm sobreposição, foi necessário criar uma borda além dos blocos. Esta extrapolação foi realizada com o número de células da malha incorporado para estender além da borda da malha original no valor de 3. O *Spline* de interpolação (*Interpolation Spline*) selecionado foi o *Akima* (Geosoft, 2006).

Foi realizada uma grande quantidade de testes para junção dos blocos com a costura de malhas. Foram testados os métodos de mistura e de sutura com remoção de tendências de inclinação para as malhas, pontos a serem usados sobre os pontos da borda e sobre todos os



pontos, o método de interpolação foi o *Akima*. No método de sutura foi utilizado o trajeto de sutura automático, correção de peso 0.5 e correção de largura – células. Foram testadas junções múltiplas e bloco a bloco, irradiando de um bloco-núcleo principal e das bordas tanto leste como oeste do projeto. Os melhores resultados foram obtidos com o método de costura “mistura” e pontos a serem usados sobre os pontos da borda.

### 3.8.5 Nivelamento e integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG

Os 5 blocos dos levantamentos ficaram subdivididos em: PLAMG – Área 2 Bloco Oeste, PLAMG – Área 2 Bloco Leste, PLAMG – Área 3, RV e IF (Figura 3.1). Com todos os levantamentos posicionados em coordenadas policônicas, foram analisados os limites para observar a sobreposição entre eles.

Também foram analisadas as principais feições e anomalias magnéticas para se certificar do correto georreferenciamento entre os projetos. Na figura 3.24, temos uma sobreposição de 3,8 km da fronteira sudoeste do levantamento IF (esquerda) com a Área 2 (direita). Na cruz observa-se uma anomalia na imagem do campo magnético coincidente entre os dois levantamentos. A estrutura magnética N-NE tem maior detalhamento no levantamento da Área 2 devido à diferença de espaçamento de 500 para 250 m.

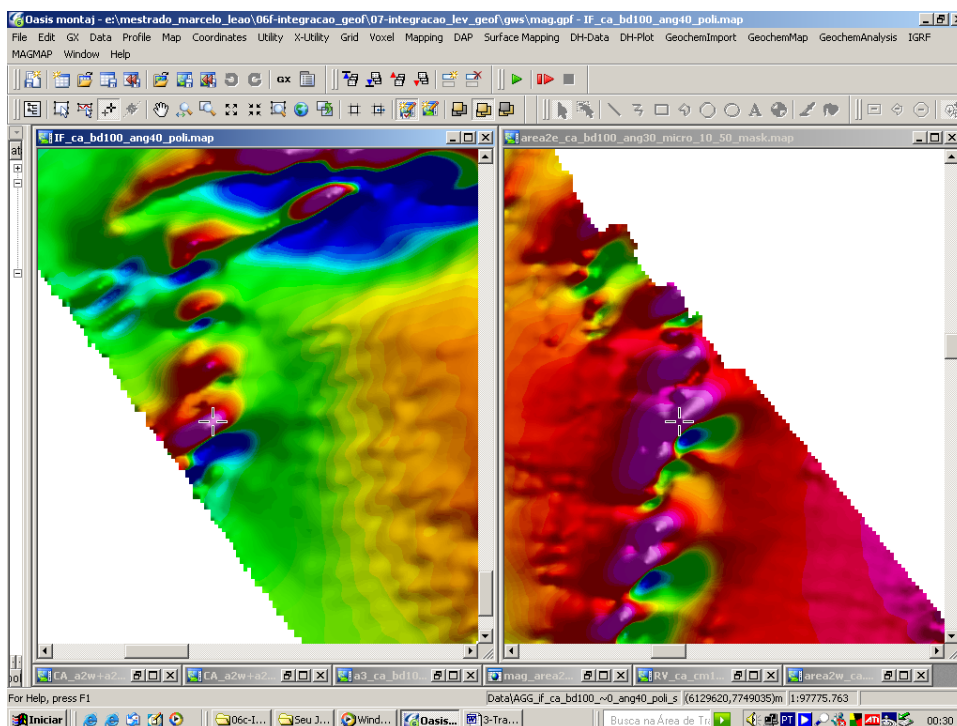


Figura 3.24 – Sobreposição de 3,8 km da fronteira sudoeste do levantamento IF (esquerda) com a Área 2 (direita). Na cruz observa-se uma anomalia na imagem do campo magnético coincidente entre os dois levantamentos.

Todas as áreas do PLAMG têm sobreposição com o RV de aproximadamente 4 km, com exceção da Área 2 Bloco Leste que tem 45 km de fronteira com 500 m de separação física. A sobreposição entre IF e RV é de aproximadamente 2 km em uma fronteira de apenas 10 km. Entre as Áreas 2 Bloco Oeste e Leste do PLAMG a sobreposição é em torno de 2 km.

A fronteira sudoeste de IF tem sobreposição de 3,8 km com a Área 2 Bloco Leste. Toda a extensão da fronteira sudeste com cerca de 112 km têm separação física de aproximadamente 800 m. Na fronteira nordeste do levantamento IF os limites coincidem com poucos pontos da Área 3 do PLAMG, com separação de centenas de metros. Na fronteira noroeste existe sobreposição de até 3 km com a Área 3. A separação física entre o IF e a Área 2 Bloco Leste do PLAMG foi a que gerou maiores problemas na costura dos dados.

Foram avaliadas as estatísticas das bordas dos levantamentos e os valores medidos do campo magnético anômalo para definição do desnivelamento e em qual levantamento deveriam ser aplicados os filtros para o nivelamento dos dados.

Diversas técnicas e métodos foram empregados nos levantamentos e nas rotinas de junção. Foram utilizadas as costuras de malhas múltiplas, em que os 5 blocos foram unidos de uma só vez e com o mesmo método. Depois foram unidos um a um em diferentes seqüências de acordo com suas particularidades e características. O método múltiplo não se aplicou bem justamente por causa das diferenças discutidas no controle de qualidade.

Foram testados filtros de continuação para cima e de continuação para baixo, com o objetivo de nivelar e uniformizar as altitudes entre os levantamentos. Esta técnica não se mostrou eficiente devido ao fato das diferenças nos valores em uma borda serem muito diferentes dos valores na outra borda do mesmo levantamento. E também para não perder detalhes importantes nos dados.

Foram testados filtros passa baixa, que não se mostraram eficientes pela grande perda de detalhes nos dados.

Foram testados os métodos de mistura (*Blend*) e de sutura (*Suture*). O método de sutura suavizou mais a união dos blocos pois define uma linha de sutura na área de sobreposição das malhas, e se adequou melhor para cada tipo de junção de blocos que tem sobreposição, largura e direção diferentes.

As tendências removidas testadas foram: nenhuma, estática (ambas de ordem zero), e polinômios de segunda e terceira ordem. Os testes foram feitos tanto para a malha 1, quanto para a malha 2, na junção de cada par de blocos.

Entre os levantamentos que tinham grande desnivelamento, a remoção de tendência de primeiro grau (inclinação) fez com que os valores se aproximassem e gerassem melhores

resultados. Quando se utiliza o polinômio de segunda ordem os valores ficam mais próximos nas bordas mas influenciam de forma geral os valores originais medidos.

Para levantamentos com pouco desnivelamento, a remoção de tendências de ordem zero (nenhuma e estática) geraram os melhores resultados.

As quatro maneiras possíveis de uso dos pontos das malhas foram testados: para todos os pontos, para os pontos da borda, somente para os pontos de sobreposição entre as malhas e somente para os pontos da borda que sobrepõem a outra malha.

Para a sutura dos levantamentos foram utilizados os pontos da borda, pois na junção de alguns blocos existe um espaço sem sobreposição.

A seqüência foi iniciada com a junção dos Blocos Leste e Oeste da Área 2 do PLAMG pelo método da sutura, com remoção da tendência de ordem zero para as duas malhas e uso dos pontos da borda. Posteriormente, foi unido com o RV pelo método da sutura, com remoção da tendência de ordem zero para a malha da Área 2, e remoção de tendência de ordem um ou inclinação para a malha do RV. O uso dos pontos também foi de borda para completar o que foi denominado de Bloco Sul.

O Bloco Norte foi à sutura do levantamento IF com a Área 3 do PLAMG, com remoção da tendência de ordem zero para as duas malhas e uso dos pontos da borda.

Finalmente, o Bloco Norte foi unido ao Bloco Sul pelo método da sutura com remoção da tendência de ordem zero para a malha do Bloco Sul, e remoção de tendência de ordem um ou inclinação para a malha do Bloco Norte. Foram utilizados os pontos da borda dos blocos para junção.

### 3.8.6 Integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG

Finalmente, foram unidos o CGBA com a integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG. Como a diferença dos parâmetros é muito grande, já se sabia da impossibilidade da junção das malhas destes dois produtos em uma malha única. Como exemplo, podemos citar a diferença no espaçamento das linhas de vôo de 2 km (CGBA), para 250 m (PLAMG, RV) e 500 m (IF). E a diferença na célula de interpolação de 500 m do CGBA, para 100 m nos outros aerolevantamentos. Ou seja, 8 vezes de diferença no espaçamento das linhas de vôo, além das muitas diferenças já discutidas anteriormente.

Mesmo assim, foi utilizado o método da sutura para a junção dos produtos. Uma infinidade de testes foram feitos, desde filtragens como a continuação ascendente até vários tipos de remoção de tendências e uso dos pontos. O resultado da sutura no campo magnético

anômalo gerou uma boa imagem (Figura 3.25) com a cicatriz da junção dos dois produtos bem marcada. Quando calculadas as derivadas e realizada a transformação linear, todas as diferenças são realçadas, e mostram o grande desnivelamento entre os dados.

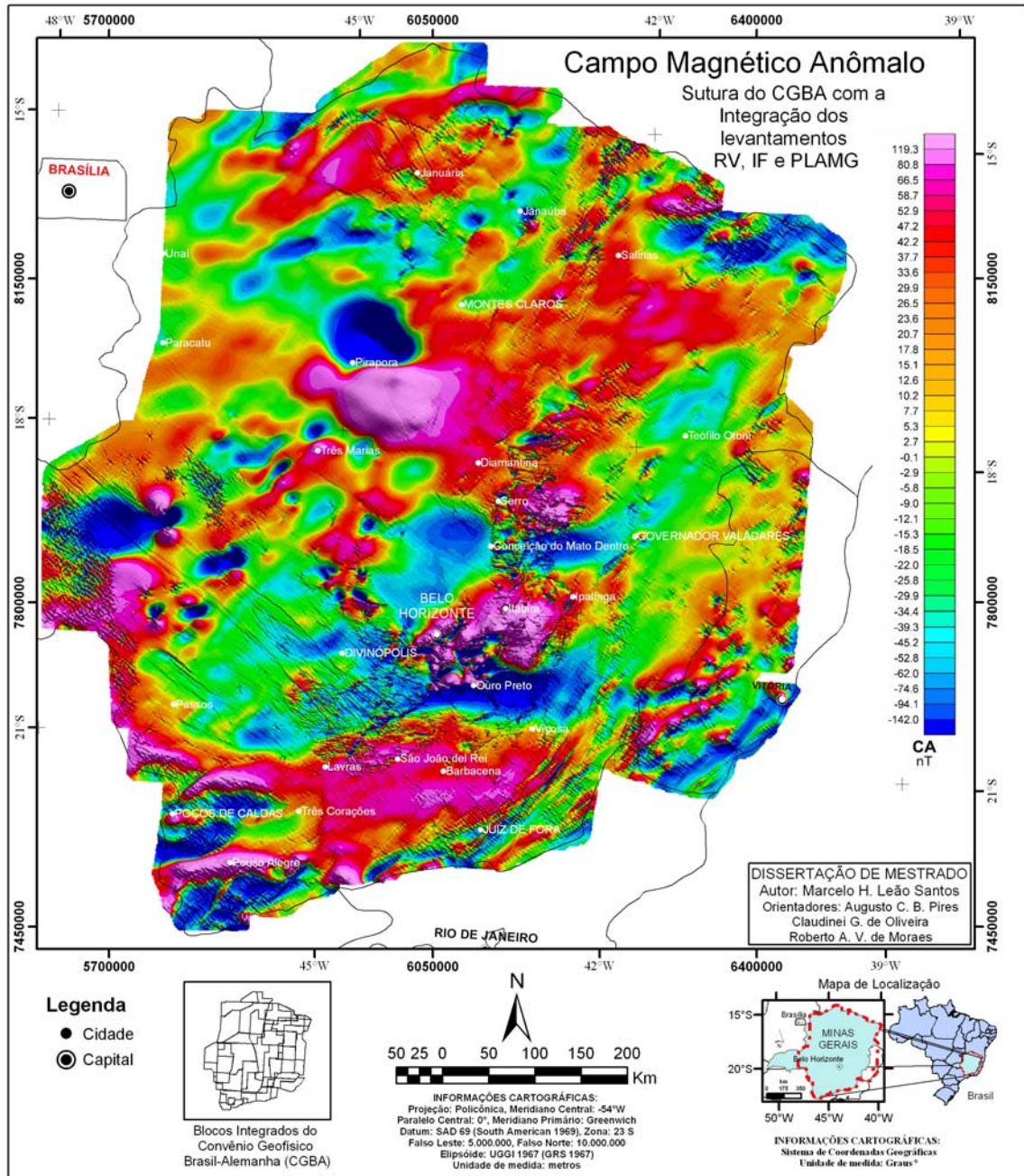


Figura 3.25 – Mapa do Campo Magnético Anômalo da sutura entre a malha do CGBA, e a malha da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG.

A figura 3.26 mostra a diferença entre a malha do CGBA (a), a sutura do CGBA com a integração dos levantamentos IF, RV e PLAMG (b), e a sutura do CGBA com a integração dos outros levantamentos reinterpolados com célula de 500 m e com aplicação do filtro *hanning* 5 vezes (c).



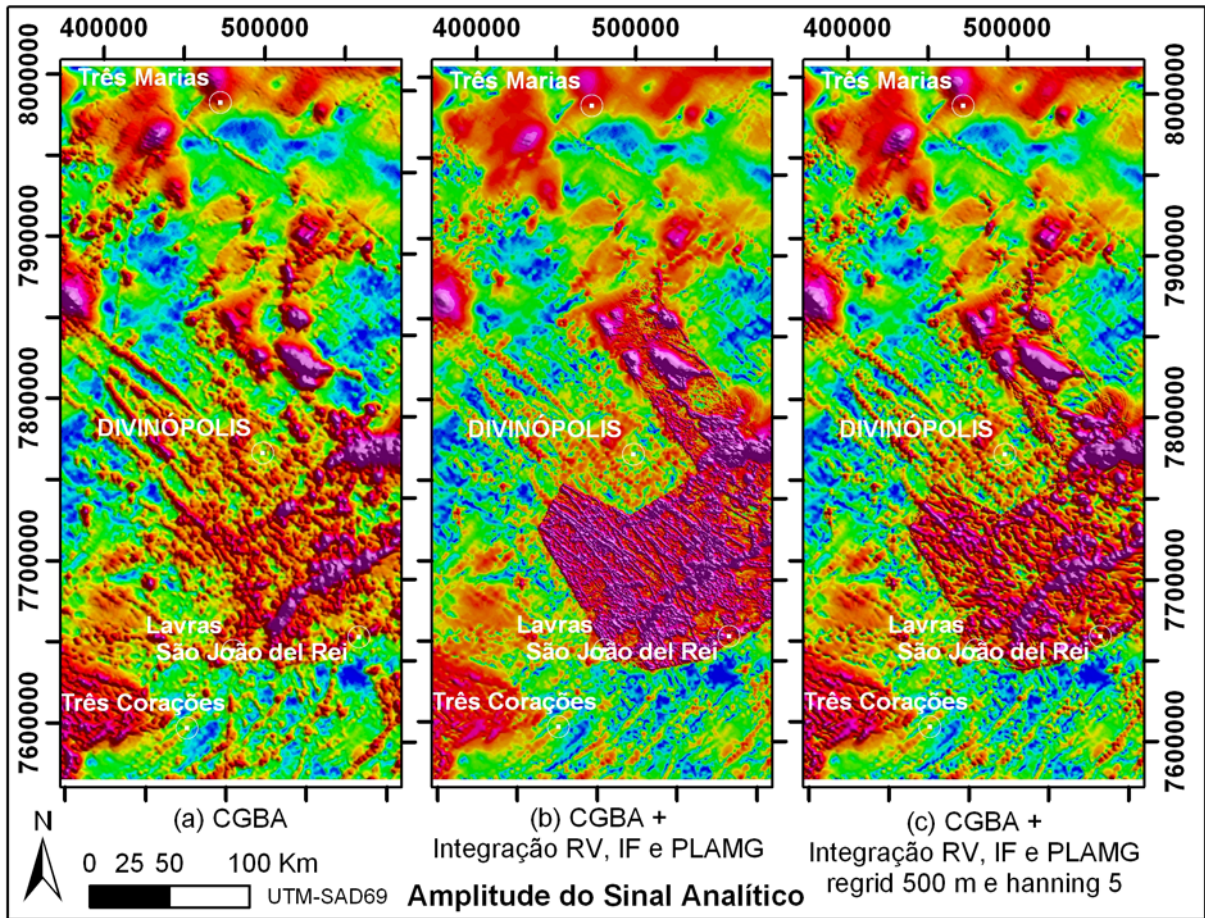


Figura 3.26 – Comparação entre a malha do CGBA (a), a sutura do CGBA com a integração dos levantamentos IF, RV e PLAMG (b); e a sutura do CGBA com a integração dos levantamentos IF, RV e PLAMG reinterpolados com célula de 500 m e com aplicação do filtro *hanning* 5 vezes (c).

Para se nivelar os dois produtos, teríamos que perder todas as altas frequências da integração do RV, IF e PLAMG, e voltaríamos a um produto da resolução do CGBA. Por isso, foi feito o que já tinha sido proposto desde o início, utilizar o CGBA como “pano de fundo” para analisar a continuidade das grandes feições e relevos magnéticos. Com isso, a integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG; foi apenas sobreposta para gerar os produtos apresentados no item 3.10 mais à frente.

Na figura 3.27 temos uma comparação do campo magnético anômalo (a)(b) e da amplitude do sinal analítico (c)(d) do CGBA (a)(c) e da integração dos outros levantamentos (b)(d), para observar a grande diferença entre os produtos. Foi realizado o recorte no CGBA para que a comparação possa ser mais bem visualizada.

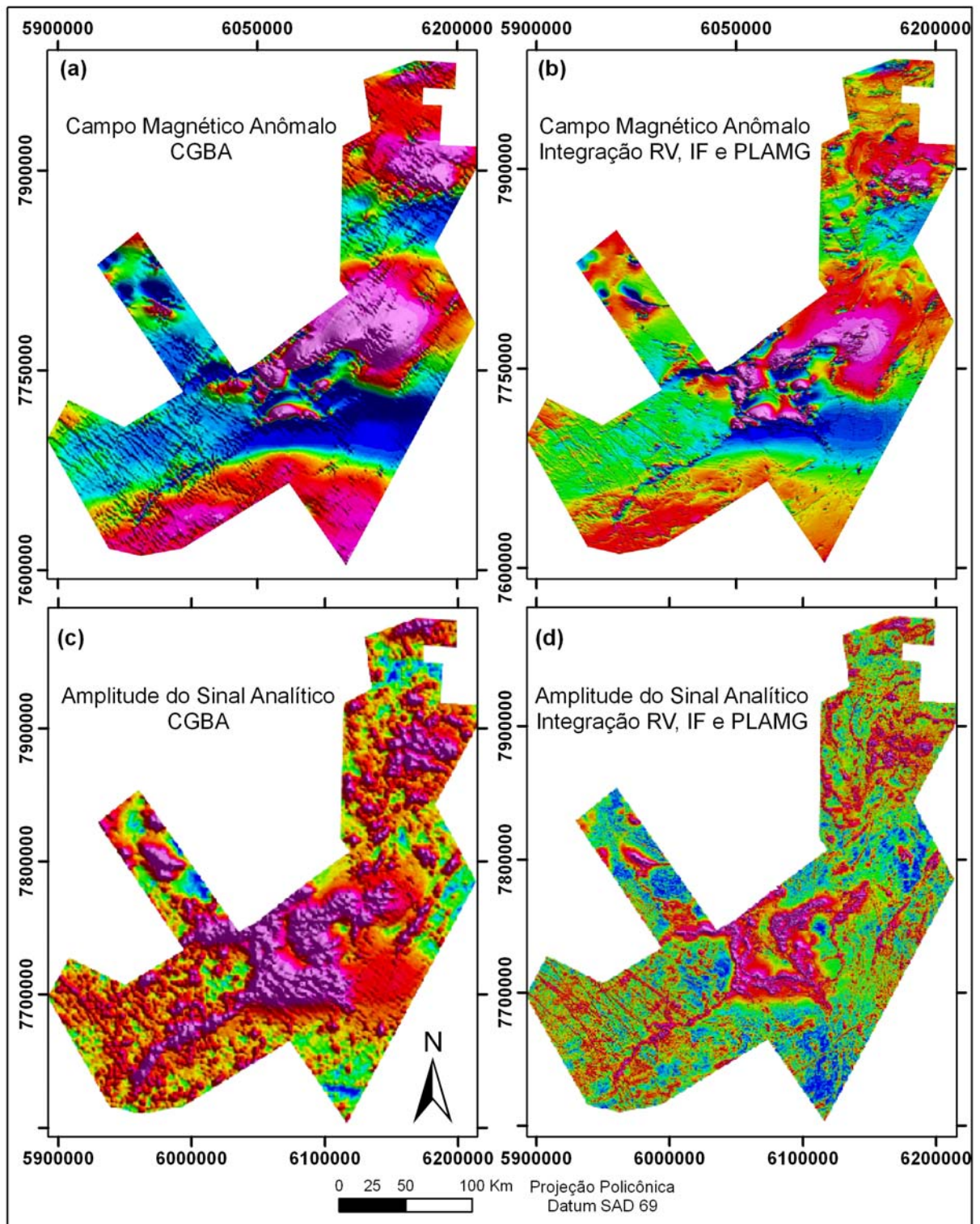


Figura 3.27 - Comparação do campo magnético anômalo (a) (b) e da amplitude do sinal analítico (c) (d) do levantamento CGBA (a) (c) e da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG (b) (d).

### 3.9 Imagens transformadas

Para a transformação das imagens magnetométricas as derivadas horizontais ( $x,y$ ) e vertical ( $z$ ) foram calculadas a partir do campo anômalo com o *Magmap<sup>TM</sup>* do *Geosoft* (1996), a partir das seguintes etapas:

- 1- preparação da malha com os valores residuais do campo magnético e a retirada de uma superfície de tendência de primeira ordem, baseada em todos os pontos;
- 2- aplicação da Transformada Rápida de Fourier – FFT;
- 3- definição dos filtros para cada uma das direções das derivadas em  $x$ ,  $y$  e  $z$ ;
- 4- aplicação dos filtros definidos.

A partir das derivadas foram calculados o gradiente horizontal total, a derivada vertical, a amplitude do sinal analítico e a inclinação do sinal analítico de acordo com suas expressões (Blum, 1999).

No total foram gerados 6 temas magnetométricos (Tabela 3.1).



### 3.10 Produtos finais

Neste item serão apresentados os mapas das imagens geofísicas transformadas geradas no processamento dos dados (Tabela 3.1). Primeiramente, serão mostradas as imagens da integração do CGBA, RV, IF e PLAMG, que cobre todo o Estado de Minas Gerais, exceto o Triângulo Mineiro, e parte do Estado do Espírito Santo. Na sequência, serão mostradas uma janela da integração do CGBA, RV, IF e PLAMG, para evidenciar a diferença na densidade dos dados e mostrar os detalhes dos dados de alta densidade.

Tabela 3.1 – Produtos transformados finais da integração CGBA, RV, IF e PLAMG.

Nº	SIGLA	NOME/DESCRIÇÃO	UNIDADE
1	<b>CA</b>	CAMPO MAGNÉTICO ANÔMALO (ou RESIDUAL) Figuras 3.28 e 3.35	nT
2	<b>ASA</b>	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO) Figuras 3.29 e 3.36	nT/m
3	<b>ISA</b>	INCLINAÇÃO DO SINAL ANALÍTICO DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO) Figuras 3.30, 3.31, 3.37 e 3.38	rd
4	<b>DZ</b>	DERIVADA VERTICAL DO CAMPO MAGNÉTICO (PRIMEIRA ORDEM) Figuras 3.32 e 3.39	nT/m
5	<b>GHT</b>	GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO) Figuras 3.33 e 3.40	nT/m
6	<b>ASA + ISA</b>	Composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (amplitude com relevo da inclinação de fundo) (ORDEM ZERO) Figuras 3.34 e 3.41	ASA nT/m ISA rd

CGBA: Valores em NanoTesla para o campo magnético anômalo (áreas *PGW*) ou residual (*WMC*).

3.10.1 Produtos finais da integração CGBA, RV, IF e PLAMG

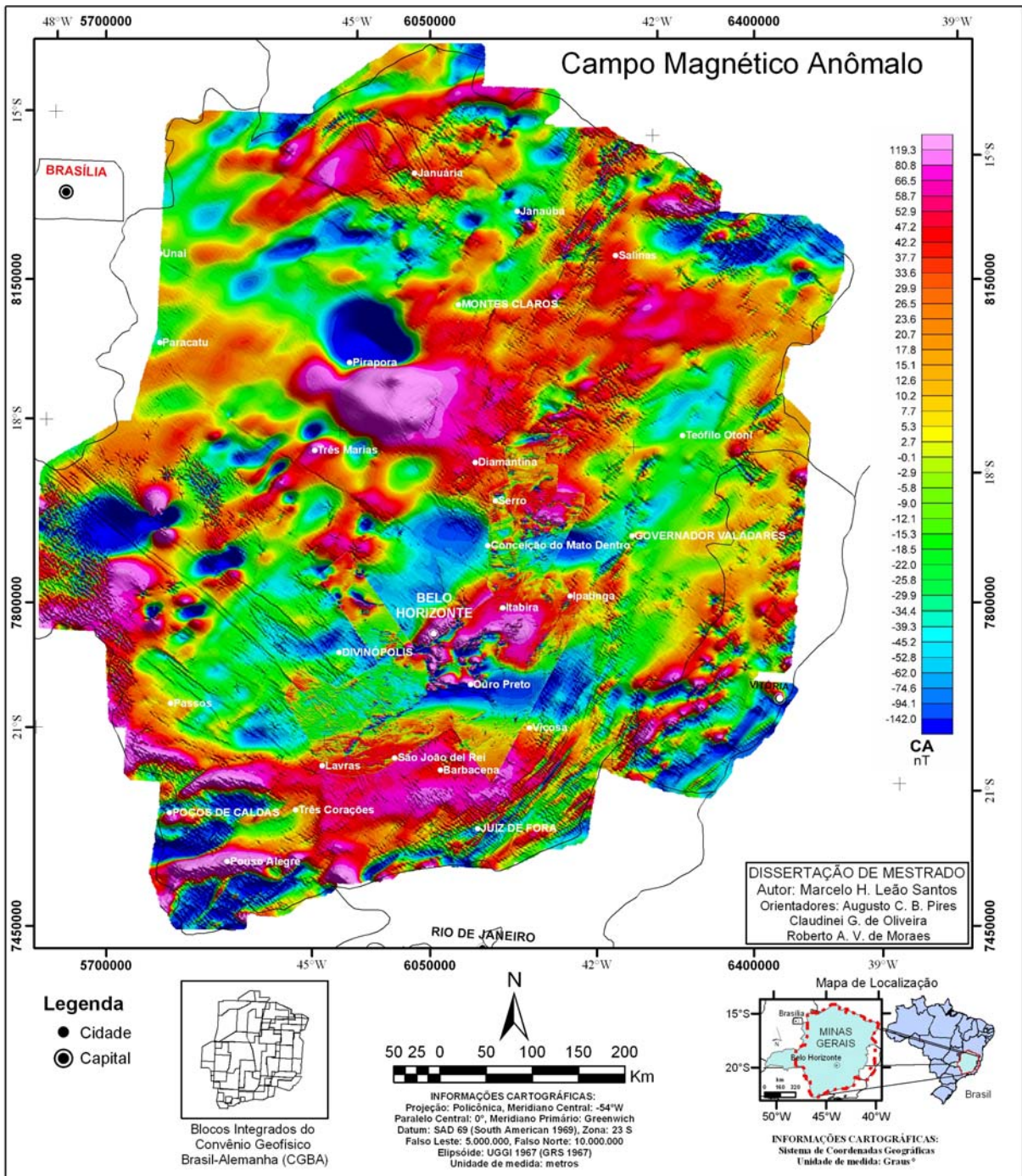


Figura 3.28 – Mapa do Campo Magnético Anômalo da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



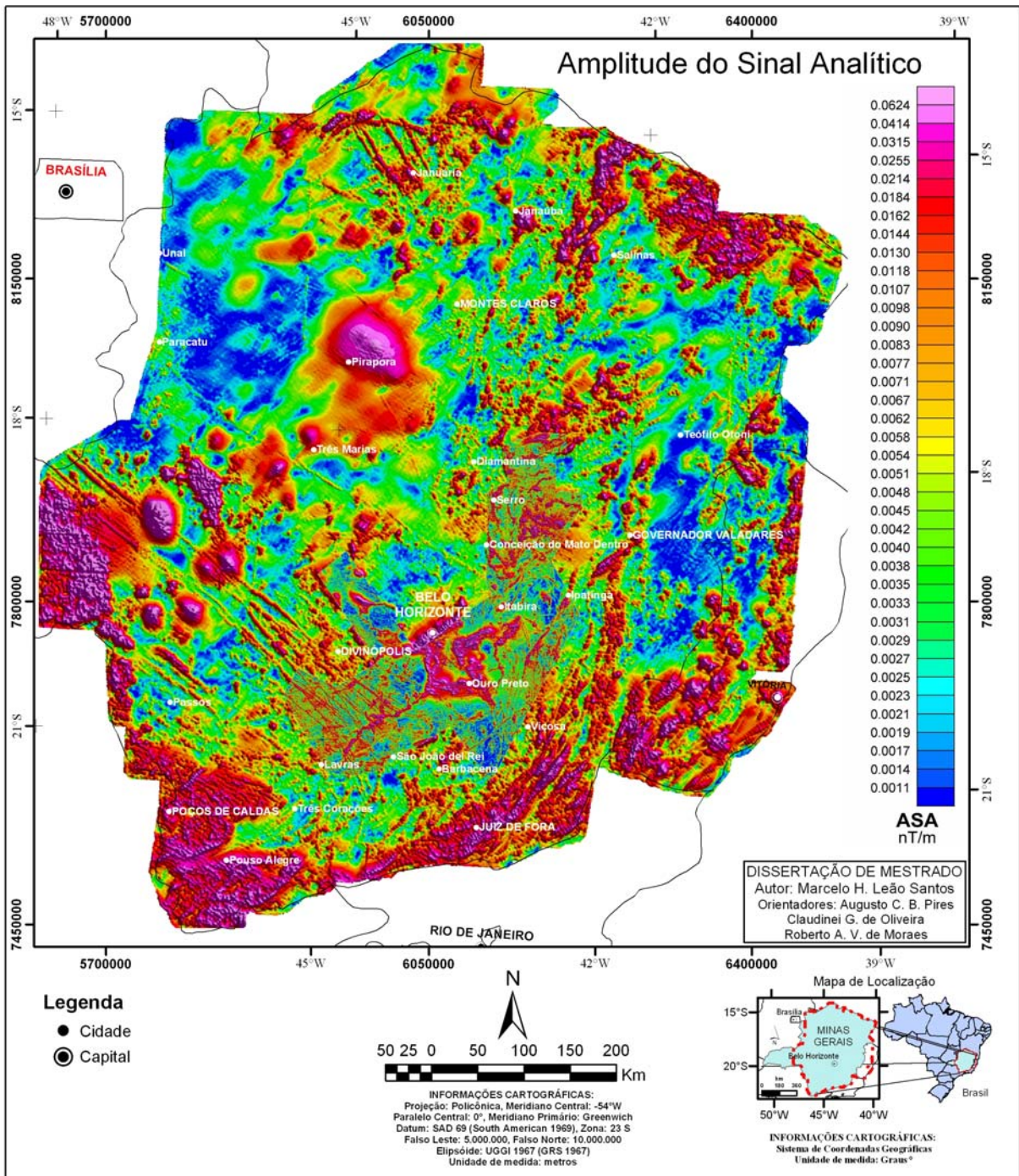


Figura 3.29 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



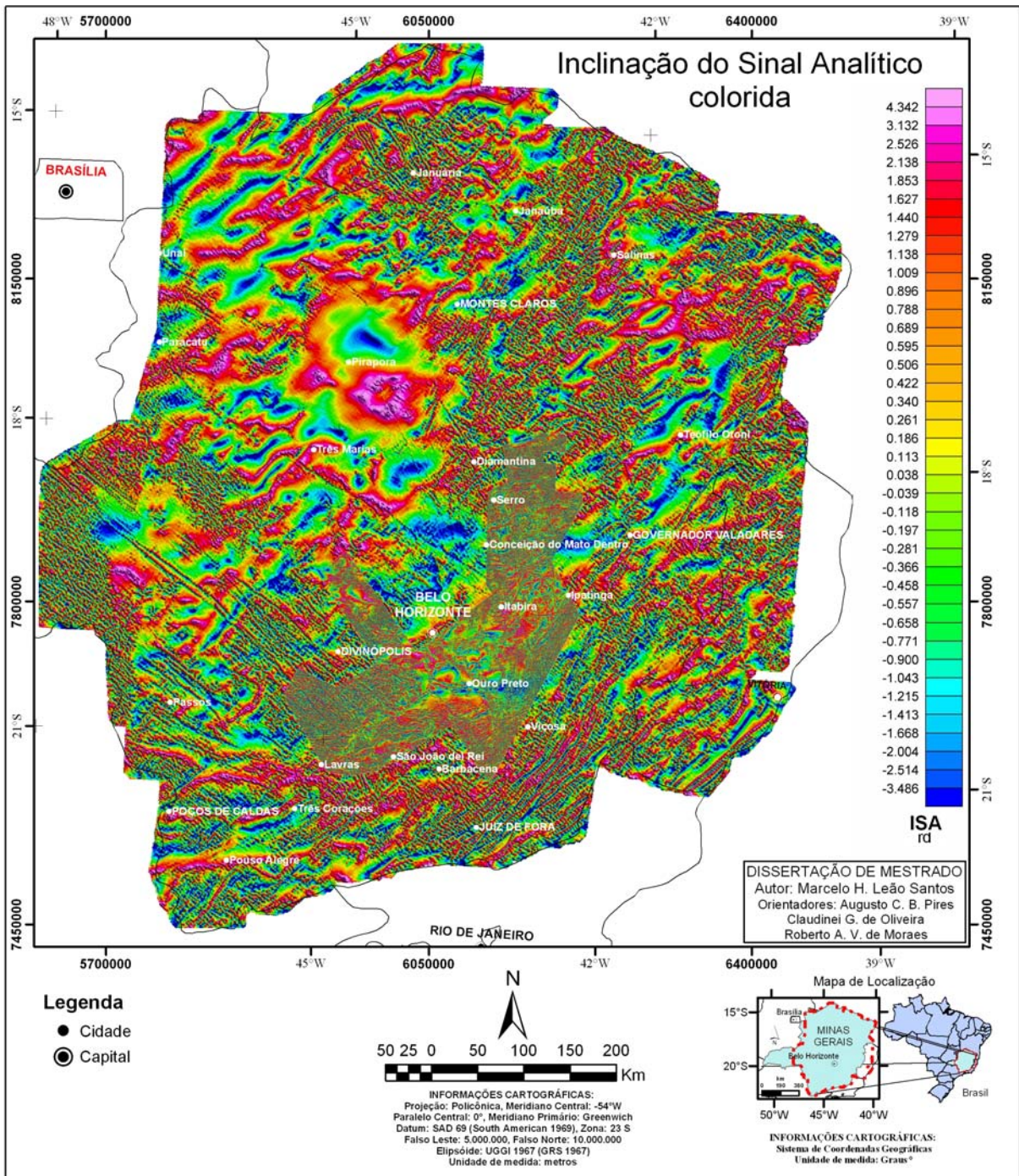


Figura 3.30 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico colorida do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



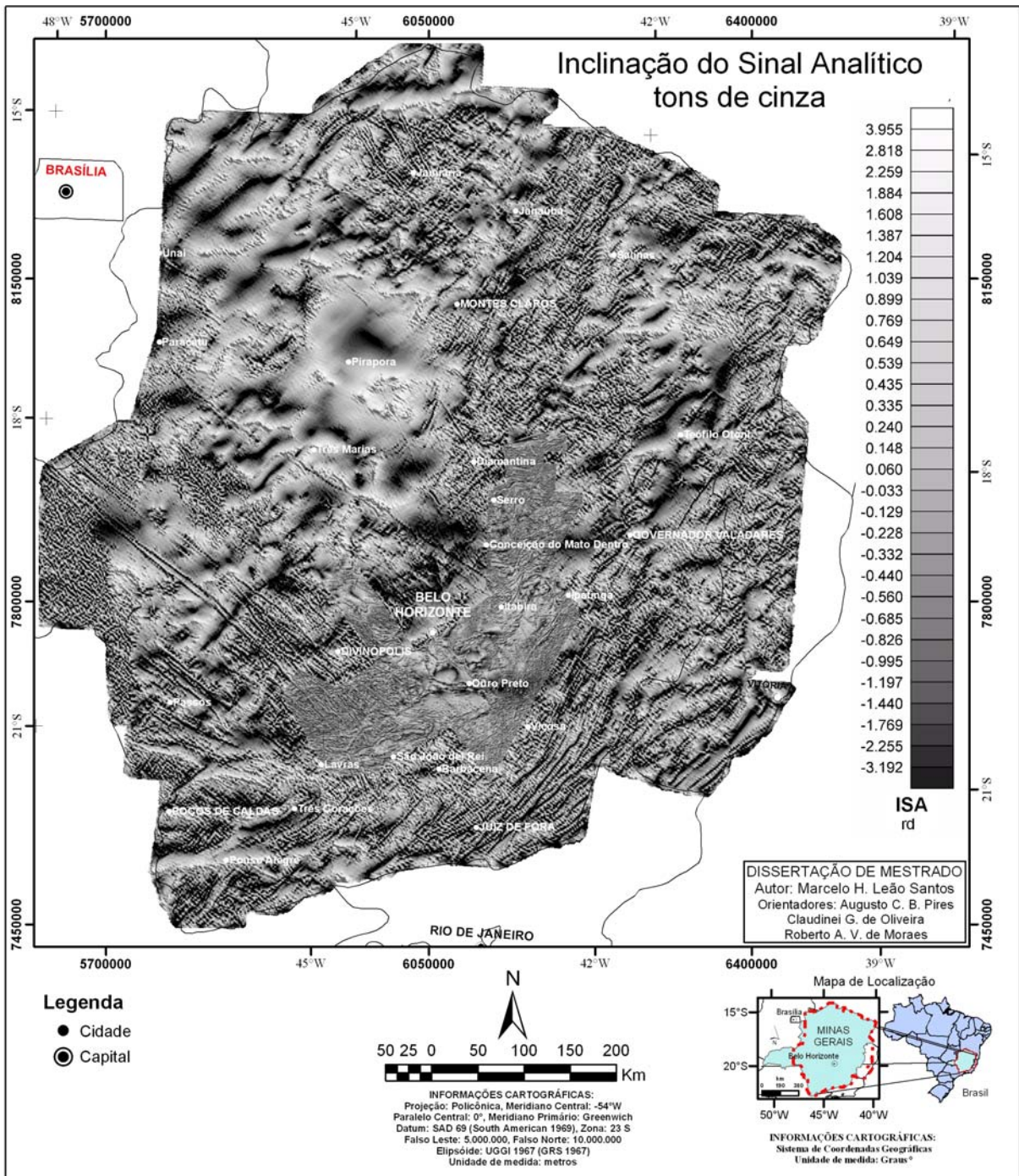


Figura 3.31 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.

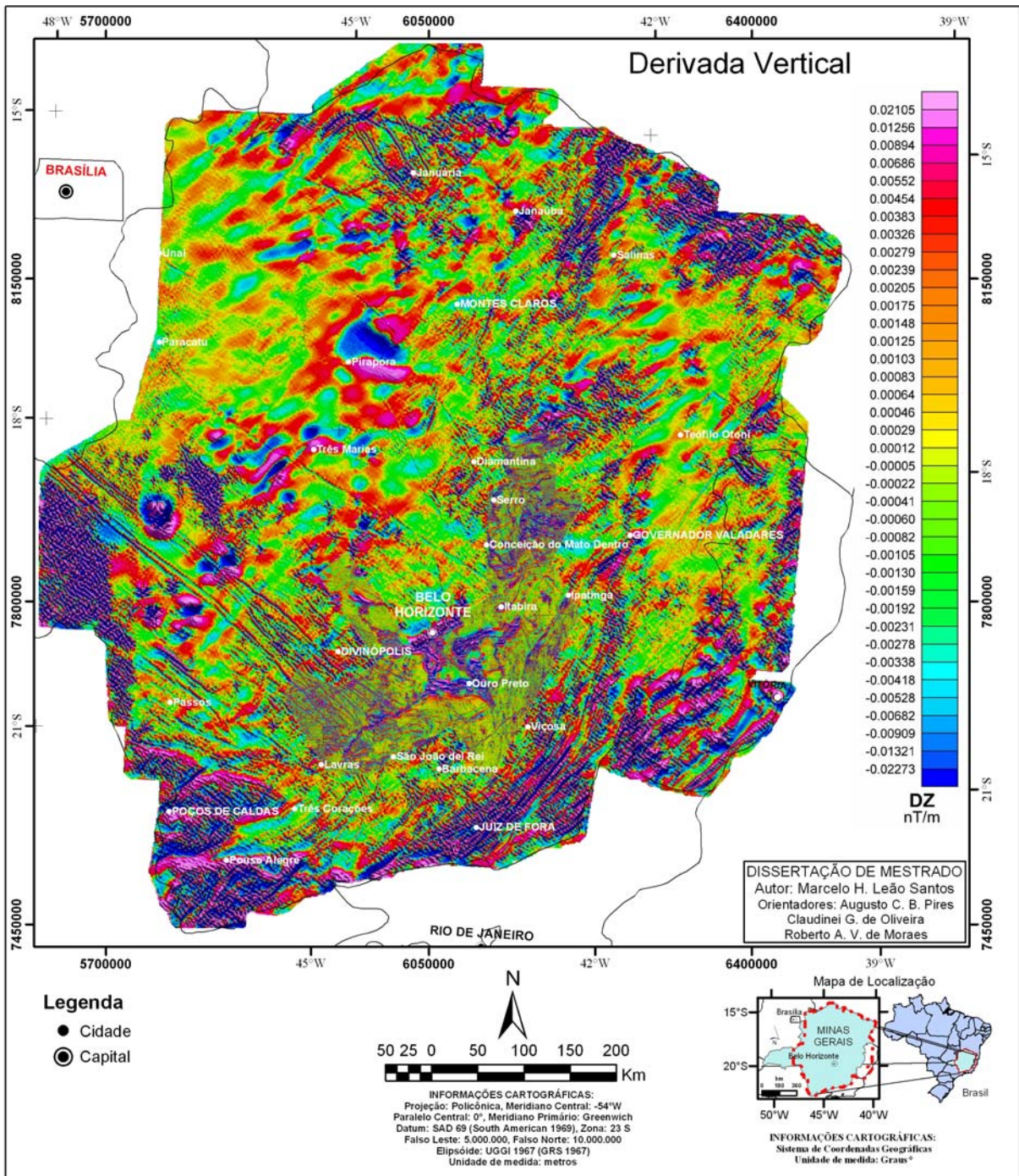


Figura 3.32 – Mapa da Derivada Vertical do Campo Magnético (Primeira Ordem) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



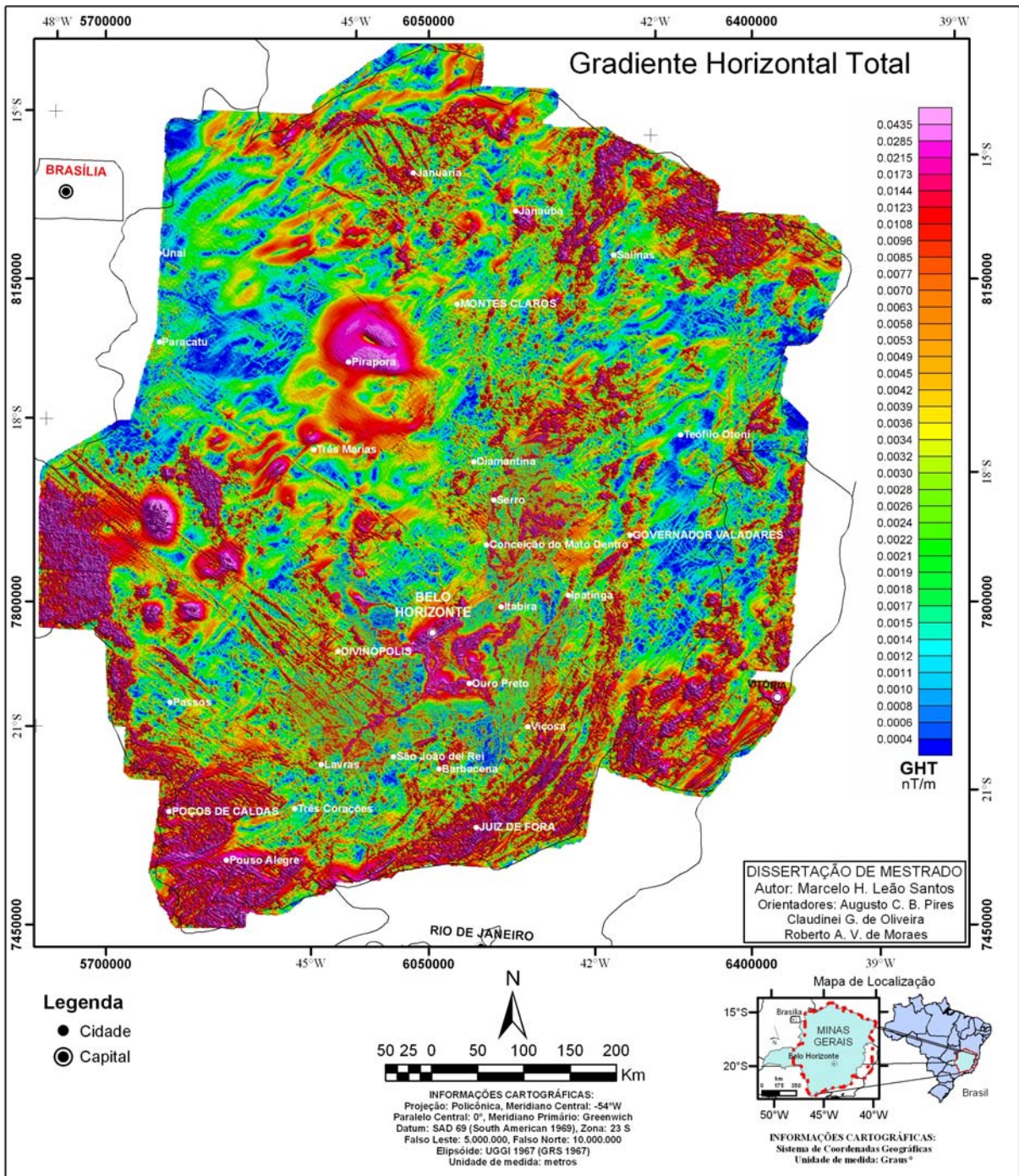


Figura 3.33 – Mapa do Gradiente Horizontal Total do Campo Magnético (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



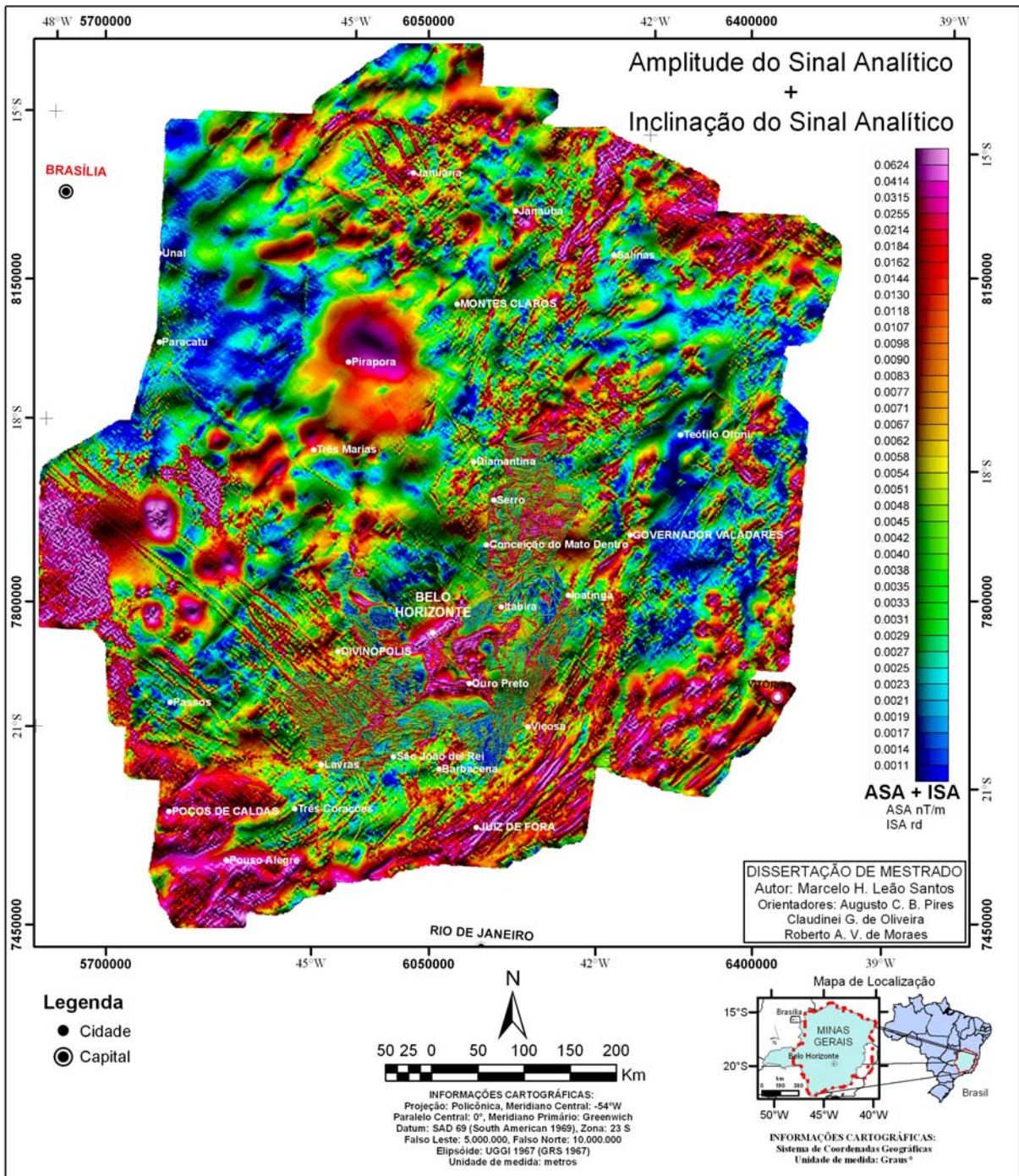


Figura 3.34 – Mapa da composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (Ordem Zero) da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



3.10.2 Detalhe dos produtos finais da integração CGBA, RV, IF e PLAMG

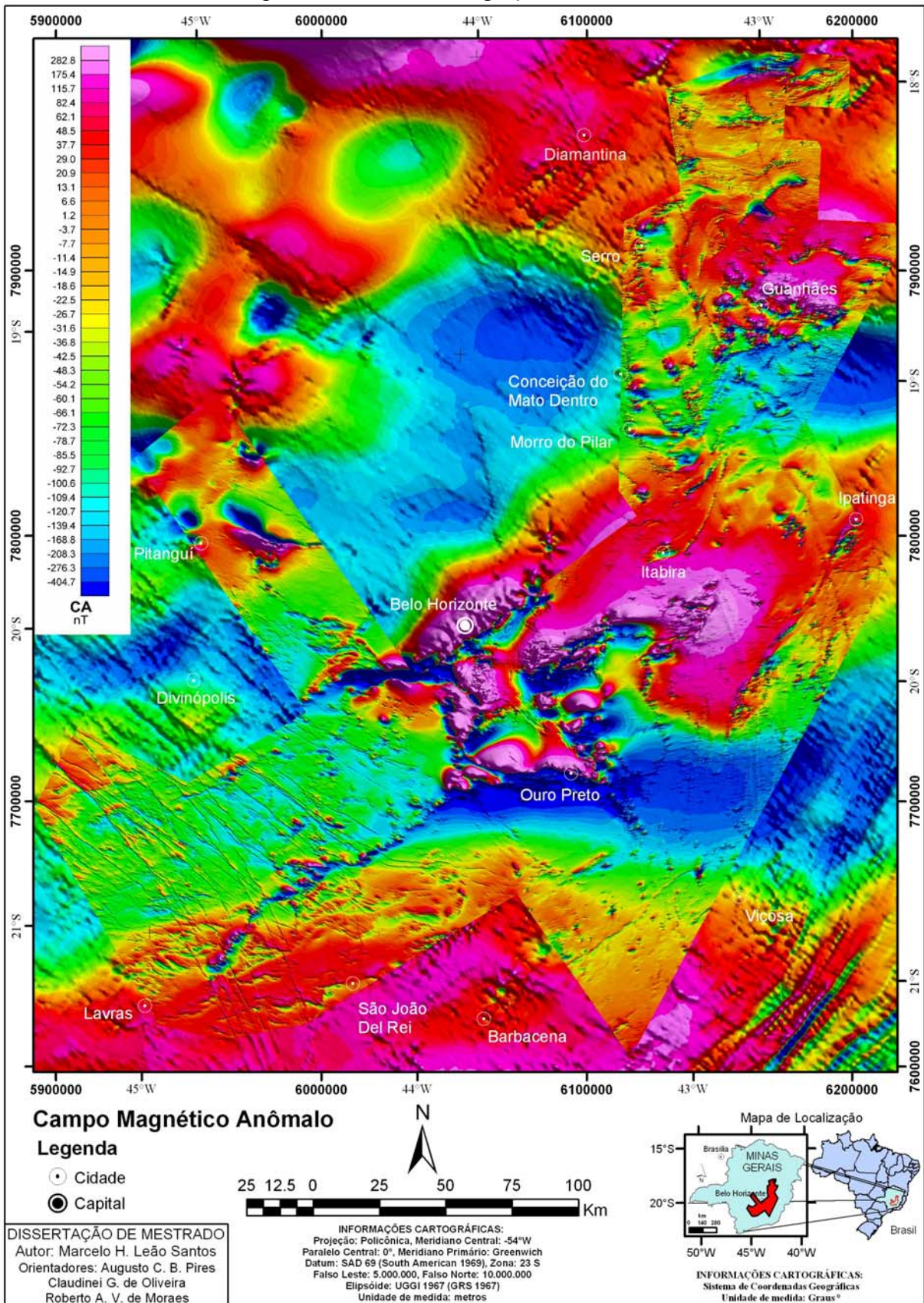


Figura 3.35 – Mapa do Campo Magnético Anômalo do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



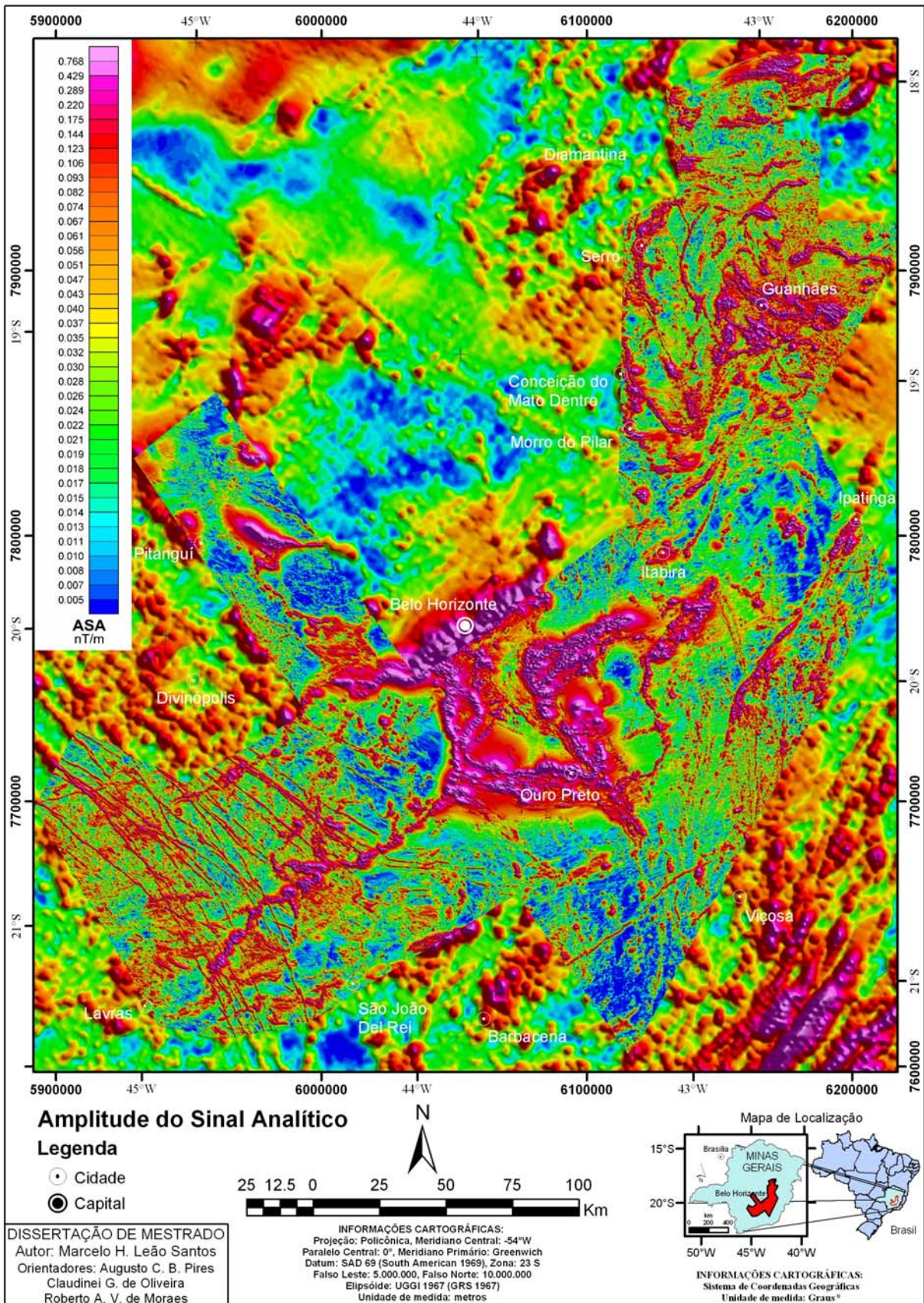


Figura 3.36 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



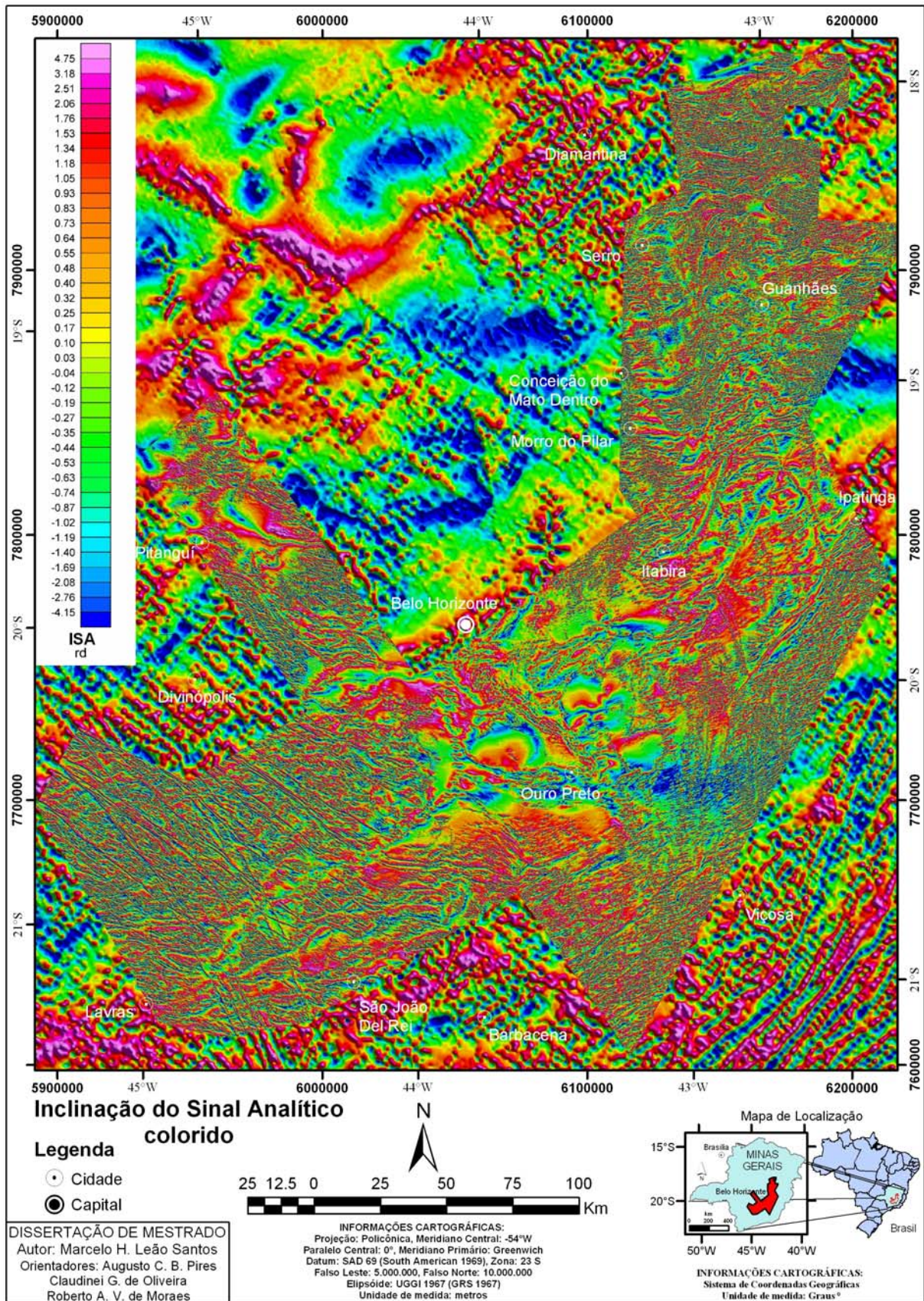


Figura 3.37 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico colorida do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



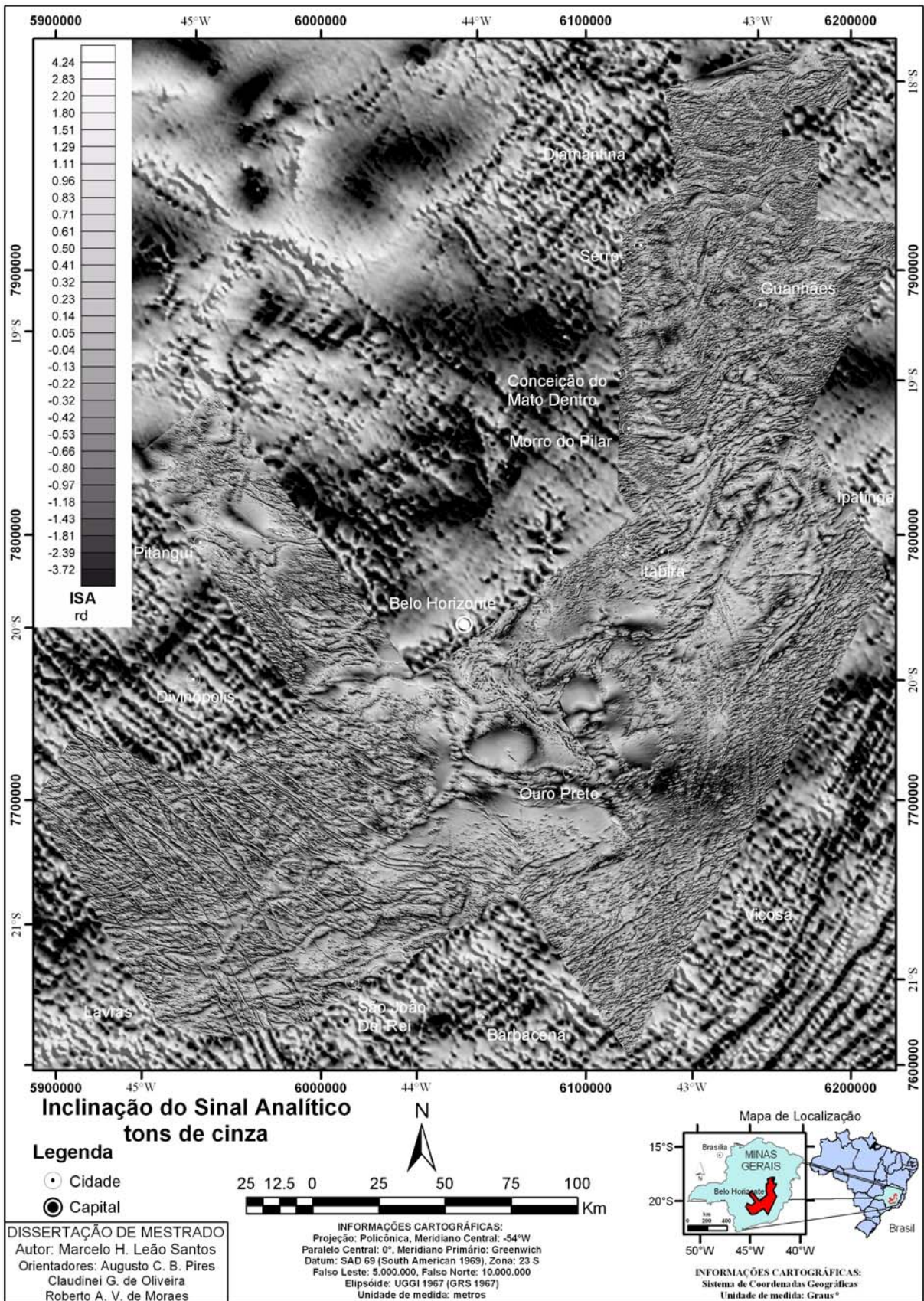


Figura 3.38 – Mapa da Inclinação do Sinal Analítico em tons de cinza do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



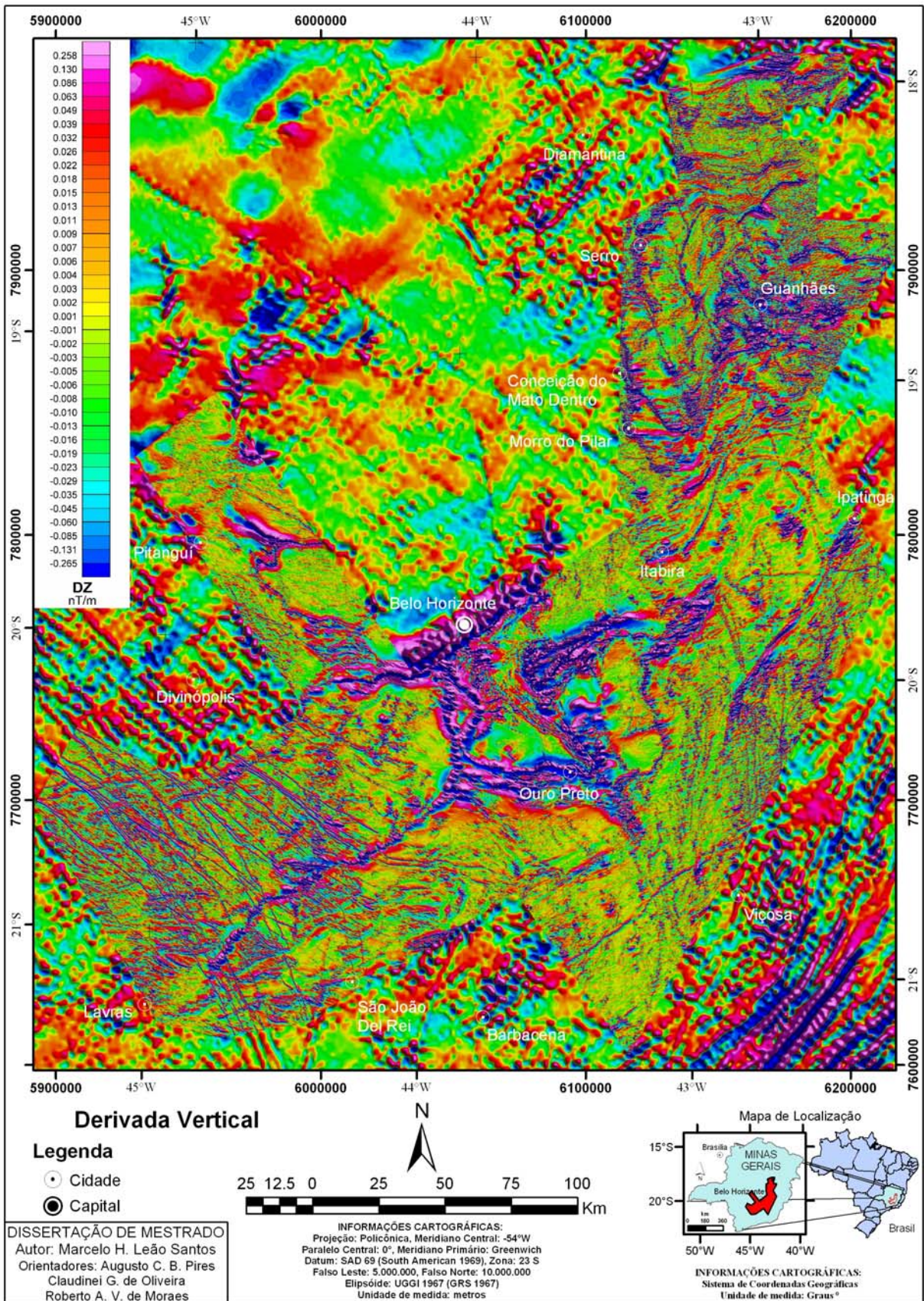


Figura 3.39 – Mapa da Derivada Vertical do Campo Magnético (Primeira Ordem) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



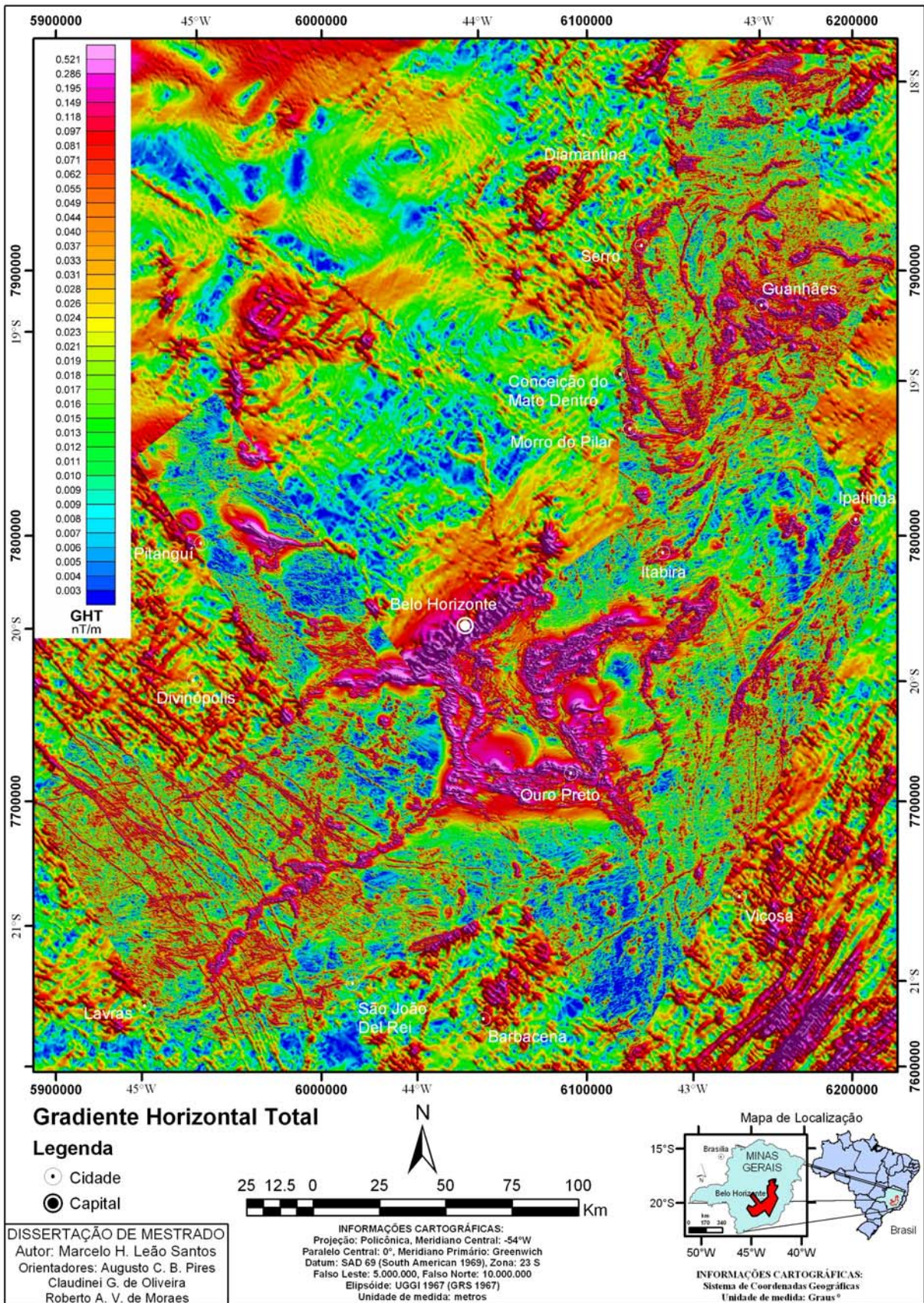


Figura 3.40 – Mapa do Gradiente Horizontal Total do Campo Magnético (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.



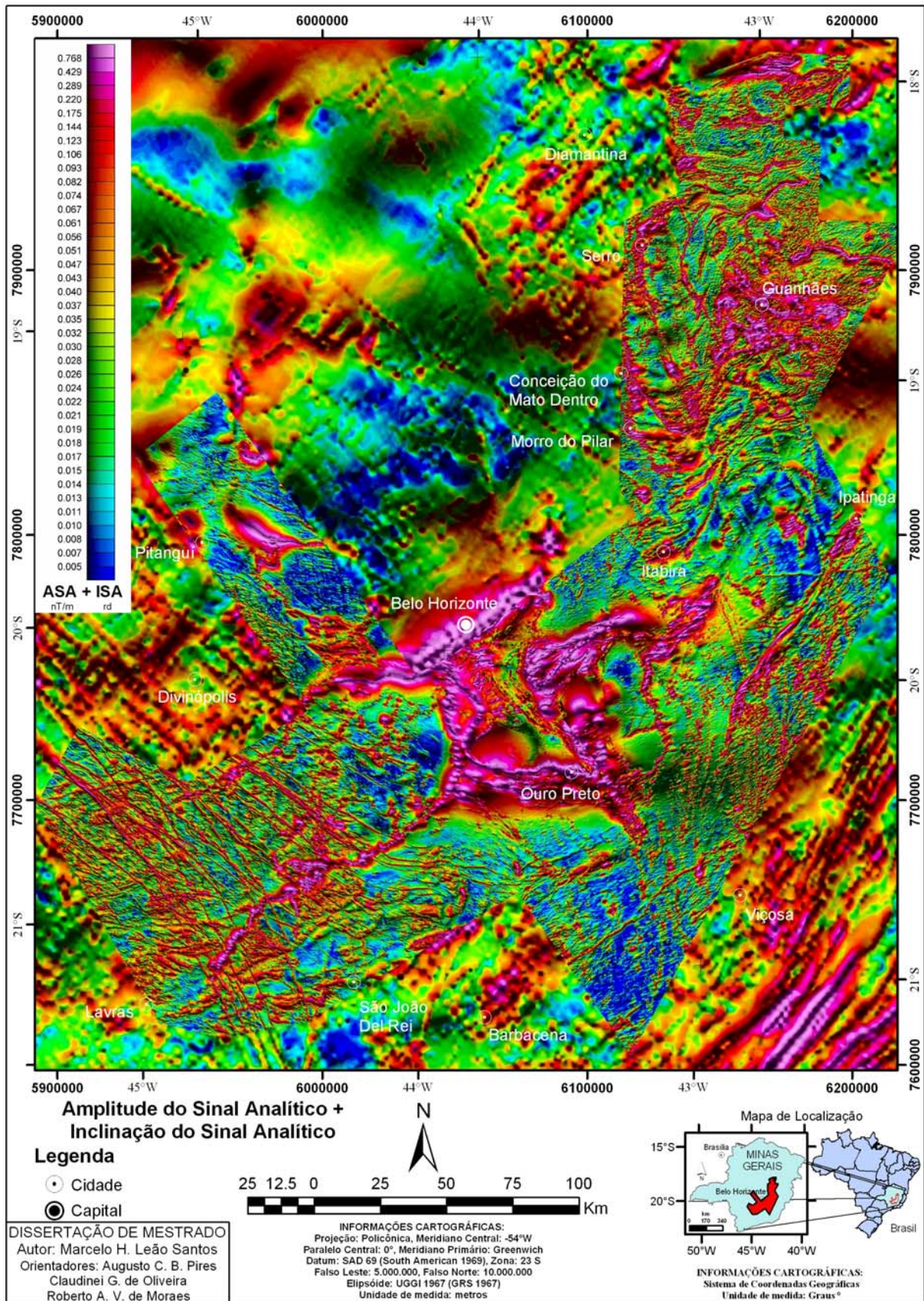


Figura 3.41 – Mapa da composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (Ordem Zero) do detalhe da integração dos levantamentos CGBA, RV, IF e PLAMG.

## **4 IMAGENS MAGNETOMÉTRICAS E SUA APLICAÇÃO NA DEFINIÇÃO DO ARCABOUÇO MAGNÉTICO-ESTRUTURAL DA PORÇÃO SUL DO CRÁTON SÃO FRANCISCO**

*“Eu discordo do que você diz, mas defenderei até a morte o seu direito de dizê-lo.”*

*Voltaire*

*“Só existe saber na invenção, na reinvenção, na busca inquieta, impaciente,  
permanente, que os homens fazem no mundo, com o mundo e com os outros.”*

*Paulo Freire*

### **4.1 Apresentação**

A interpretação geofísica foi efetuada com maior detalhe no produto de integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG. A interpretação geofísica dos lineamentos magnetométricos também foi feita na área do CGBA para mostrar a continuidade das grandes feições e estruturas regionais. Uma interpretação de grandes blocos regionais foi confeccionada no CGBA para caracterizar alguns dos mais importantes domínios. Algumas interpretações locais serão discutidas para mostrar a riqueza de detalhe dos dados e sua qualidade para uso em escalas de semidetalhe.

A integração dos dados geofísicos com os dados geológicos teve como objetivo principal mostrar a potencialidade dos produtos para definição do arcabouço magnético-estrutural da porção sul do Cráton São Francisco.

Uma síntese geológica do Quadrilátero Ferrífero será descrita para correlação com as imagens magnetométricas e mostrar um detalhamento do arcabouço magnético-estrutural local.

## 4.2 Síntese Geológica do Quadrilátero Ferrífero

O Quadrilátero Ferrífero localiza-se na porção sudeste do Estado de Minas Gerais, na borda sul do Cráton São Francisco.

Os litotipos aflorantes abrangem uma área de aproximadamente 7190 Km<sup>2</sup> e são constituídos de terrenos granito-gnáissicos, *greenstone belt* arqueano e seqüências supracrustais do paleoproterozóico e do mesoproterozóico (Figura 4.1). (Cordani *et al.* 1980 e 1989, Teixeira 1985, Machado *et al.* 1989, Romano *et al.* 1991, Machado & Carneiro 1992, Carneiro *et al.* 1995, Noce 1995, Noce *et al.* 1996, Teixeira *et al.* 1996a).

As rochas do *greenstone belt* arqueano (Schorscher, 1978) são agrupadas no Supergrupo Rio das Velhas, o qual se divide nos Grupos Nova Lima e Maquiné. Ladeira (1980) propôs dividir o Grupo Nova Lima em três unidades, da base para o topo: unidade metavulcânica, unidade metassedimentar química e unidade metassedimentar clástica. Sobreposto a esse conjunto está o Grupo Maquiné, que foi dividido em duas formações, da base para o topo: Palmital e Casa Forte (Dorr, 1969).

A coluna estratigráfica proposta por Marshak e Alkmim (1989), modificada por Chemale Jr *et al.* (1991) (Figura 4.2) mostra um terceiro Grupo na base do Supergrupo Rio das Velhas, o qual foi sugerido por Schorscher (1978). Este Grupo é denominado Quebra Ossos e agrupa as rochas máficas e ultramáficas. Schorscher foi o primeiro a mostrar a presença de Komatiitos na unidade, e relatou a existência de derrames maciços, junções poliedrais, textura *spinifex*, que podem gradar ou não para *pillow lavas*.



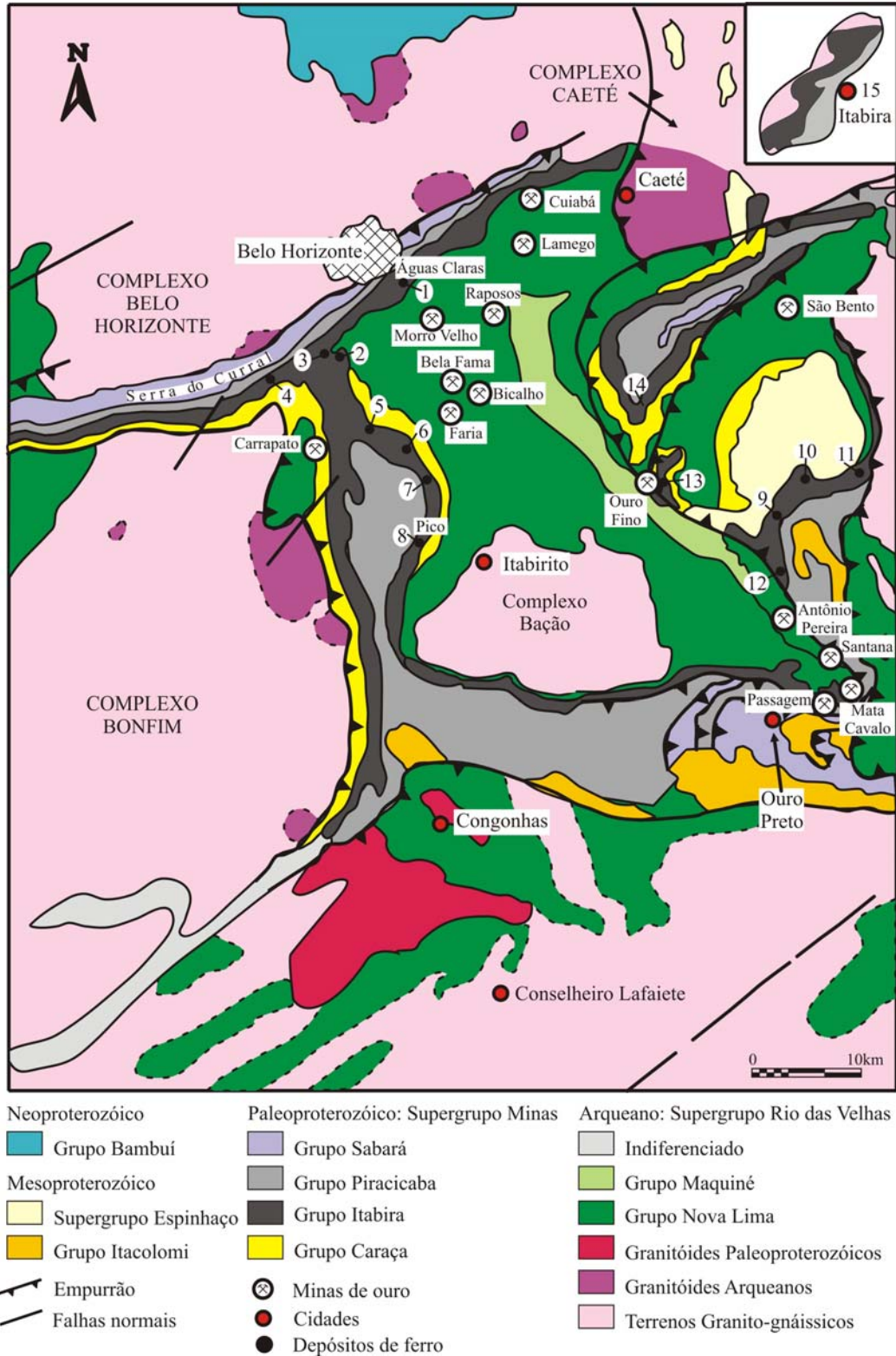
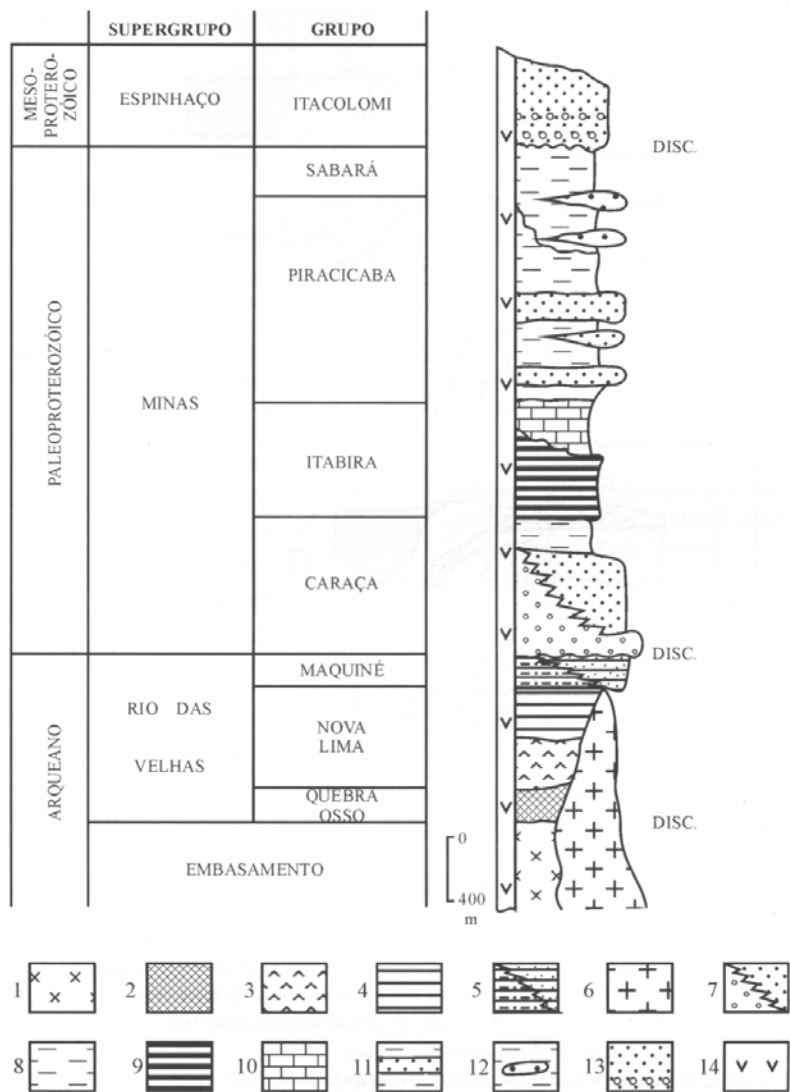


Figura 4.1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (segundo Noce, 1995; Pedrosa-Soares *et al*, 1994) com os principais depósitos de ouro e de ferro. Depósitos de ferro: 1-Águas Claras; 2-Mutuca; 3-Capão Xavier; 4-Jangada/Samambaia; 5-Tamanduá; 6-Serra/Capitão do Mato; 7-Abóboras; 8-Pico; 9-Miguel Congo; 10-Alegria; 11-Fazendão; 12-Timbopeba; 13-Capanema; 14-Gandarela; 15-Itabira.



- 1 – Embasamento granito – gnáissico
- 2 – Rochas ultramáficas
- 3 – Rochas máficas
- 4 – Unidade químico - clástico
- 5 – Unidades clásticas
- 6 – Tonalitos
- 7 – Fm. Moedas: conglomerados e quartzitos
- 8 – Fm. Batatal: filitos carbonosos
- 9 – Fm. Cauê: itabiritos
- 10 – Fm. Gandarela: dolomitos
- 11 – Quartzitos e filitos
- 12 – Conglomerados e filitos
- 13 – Conglomerados e quartzitos
- 14 – Sills e diques de diabásio

Figura 4.2 – Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Marshak e Alkmim, 1989; Chemale Jr. *et al*, 1991).

O Supergrupo Minas sobrepõe-se aos terrenos granito-gnáissicos e ao Supergrupo Rio das Velhas, geralmente em contato tectônico. Este se divide em três grupos, da base para o topo: Caraça, Itabira e Piracicaba (Dorr 1969, Cordani *et al.* 1980 e 1989, Ladeira & Viveiros 1984, Marshak & Alkmim 1989, Carneiro *et al.* 1995, Noce 1995).

O grupo Caraça apresenta em sua base a Formação Moeda, constituída por quartzitos com intercalações de filitos e níveis conglomeráticos auríferos-uraníferos na porção basal. Acima desta formação, encontra-se a formação Batatal, onde predominam filitos sericíticos, por vezes carbonosos ou ferruginosos.

O grupo Itabira é composto pelas formações Cauê e Gandarela. A primeira encontra-se na base do grupo, e possui formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior, filitos ferruginosos e dolomitos. A segunda formação, no topo do grupo, exhibe dolomitos metamorfisados, subordinadamente, itabiritos e filitos.

No grupo Piracicaba estão presentes as formações Cercadinho, na base do grupo, caracterizado pela alternância de quartzitos e filitos, freqüentemente ferruginosos, formação Fecho do Funil, constituída de filitos quartzosos, filitos dolomíticos e lentes de dolomito. Há uma terceira e quarta formações que são de ocorrência restrita e denominam-se formações Tabões e Barreiras, constituídas de ortoquartzitos e filitos grafitosos, respectivamente.

A unidade Sabará é mapeada como um grupo no topo do Supergrupo Minas. A princípio esta unidade era considerada uma formação, Barbosa (1968) e Ladeira (1980) propuseram a elevação da formação Sabará à categoria de grupo, devido a sua espessura e presença de litotipos diferenciados. Esta unidade é formada por clorita xistos, filitos, metagrauvas, metatufos, metaconglomerados, quartzitos e formação ferrífera subordinada.

O Supergrupo Espinhaço é constituído por um pacote rochoso quartzítico a nordeste do Quadrilátero Ferrífero, aflorante na Serra das Cambotas.

O arcabouço tectônico do quadrilátero Ferrífero é marcado por uma complexa história polifásica, o que resultou na superposição heterogênea de sucessivos eventos tectônicos (Endo *et al.* 1996). Endo & Carneiro (1996) propõem que a geração da matriz estrutural do Quadrilátero Ferrífero e suas sucessivas reativações, durante o Neoarqueano, ocorreram em regime tectônico de natureza transpressional.

O período final da evolução arqueana é marcada por intrusões graníticas, de 2612Ma, por deformação e metamorfismo de 2610/2590 Ma (Romano, 1989; Romano *et al.* 1991; Machado *et al.* 1992; Machado & Carneiro, 1992), e caracteriza o Evento Rio das Velhas. Duas gerações de diques máficos de direção predominantemente NS cortam os terrenos granito-gnáissicos, *Greenstone Belt* Rio das Velhas do Quadrilátero Ferrífero e regiões

adjacentes (Carneiro, 1992). Estas intrusões foram mais expressiva durante a abertura do protoceano Brasileiro/Panafricano (Silva *et al.* 1991 *a e b*, Silva *et al.* 1992, Silva *et al.* 1995). O Ciclo Rio das Velhas culminou com a consolidação de uma extensa área cratônica que representa uma plataforma continental estável para a instalação das faixas móveis paleoproterozóicas.

Os diversos litotipos que constituem a crosta siálica do Quadrilátero Ferrífero tem sido datadas por diferentes metodologias ao longo dos anos. O grande avanço no entendimento da origem e evolução desses terrenos arqueanos foi fundamentada na metodologia U-Pb de alta precisão e na geoquímica isotópica Sm-Nd (Carneiro *et al.* 1995 e 1996).

Marshak e Alkmin (1989) propõe um modelo de evolução tectônica para o Quadrilátero Ferrífero antes e durante a Orogênese Transamazônica, discriminadas em cinco fases (Figura 4.3):

A – Configuração pré-transamazônico. O Supergrupo Minas representaria a plataforma continental de uma margem passiva;

B – Colisão inicial com o arco Transamazônico e bloco continental acrescido. A Bacia Foreland Sabará estende-se ao interior do cráton ;

C – Deformação do Sabará durante o estágio colisional final.

D – Colapso extensional inicial com o desenvolvimento de um núcleo metamórfico e descolamento;

E – Com a contínua extensão e aquecimento da crosta, o cinturão dobrado teria evoluído para uma província tipo domos e de quilhas.



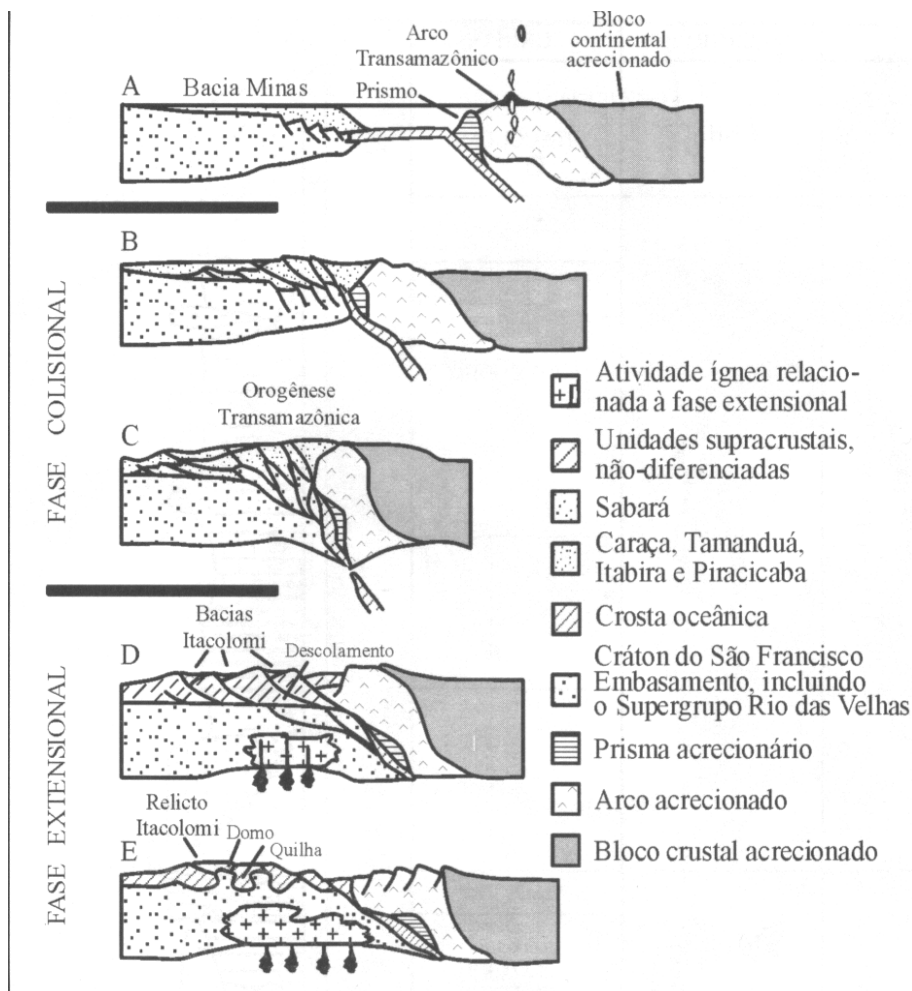


Figura 4.3 – Seção transversal que ilustra o modelo de evolução tectônica sugerida para o Quadrilátero Ferrífero antes e durante a Orogênese Transamazônica (Marshak e Alkmim, 1989; Chemale Jr. *et al*, 1991).

#### 4.2.1 O estado da arte do Supergrupo Rio das Velhas

##### Estratigrafia

O Supergrupo Rio das Velhas é formado por uma sucessão de rochas metassedimentares e metavulcânicas, submetida a deformação e metamorfismo intensos durante o evento orogênico ocorrido no Arqueano (2.700 Ma). É dividido nos Grupos Nova Lima e Maquiné, reconhecidos como parte de um *greenstone belt*. O Grupo Nova Lima (Dorr 1969) é a unidade hospedeira da maioria das mineralizações de ouro conhecidas na região do Quadrilátero Ferrífero.

Não existe uma subdivisão válida para o Supergrupo Rio das Velhas como um todo. Recentemente, Pinto & Silva (1996), Zucchetti *et al.* (1996) propuseram uma nova subdivisão estratigráfica para o *Greenstone Belt* Rio das Velhas, que é de extrema relevância dentro do

projeto. O Supergrupo foi dividido em unidades litoestratigráficas informais pela equipe do Projeto Rio das Velhas. Pinto & Silva (1996) propõem elevar as unidades à categoria de formações. Segundo Zucchetti *et al.* (1996) estas unidades foram definidas por observações de campo, com o apoio de estudos petrológicos e geoquímicos. As unidades foram agrupadas em blocos tectônicos, denominados de: Nova Lima, Caeté, Santa Bárbara e São Bartolomeu, que segundo os autores, retratam ambientes petrogenéticos distintos.

O bloco de São Bartolomeu situa-se na porção sul do QF, caracterizado por metassedimentos clásticos grossos, carbonáticos em fácies anfíbolito. Este bloco se distingue dos outros pelo grau metamórfico mais alto (Fácies Anfíbolito) e pela natureza da sua sedimentação, bem como a ausência de magmatismo (Pinto 1996, Zucchetti *et al.* 1996).

O bloco Nova Lima é caracterizado da base para o topo por seqüências metavulcânicas básico-ultrabásicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares, em fácies xisto verde.

O bloco Caeté situa-se na porção central, e é o único que apresenta a coluna completa.

Bloco Santa Bárbara localiza-se no extremo sudeste, e caracteriza-se pelo predomínio de unidades metassedimentares e metavulcânicas ultramáficas da porção basal. Existe uma abundância de *BIFs*, intercalados a metassedimentos clásticos.

Dentro dessas modificações foi mantida a designação formal de Supergrupo Rio das Velhas, onde se encontra os Grupos Nova Lima na base e Maquiné no topo.

### Estrutural

A formação do Supergrupo Rio das velhas é mais antiga que 2740 Ma e entre 2700-2800 Ma ocorreu a granitogênese arqueana. Na Serra de Ouro Branco e Itatiaia foram identificados corpos graníticos injetados e fortemente deformados na seqüência ultramáfica do Supergrupo Rio das velhas, locais importantes de atuação dos eventos de idade transamazônica e brasileira. Nesse local as rochas são fortemente deformadas por uma tectônica transcorrente dextral, a qual é considerada como o mecanismo de deformação principal das unidades do Supergrupo Rio das velhas e dos terrenos granito-gnáissicos associados. No entanto, quase a totalidade das unidades do Supergrupo Rio das velhas foi tectonizada e metamorfisada pelos eventos do Transamazônico e Brasileiro, o que dificulta a caracterização tectônica do Supergrupo Rio das velhas (Chemale Jr. *et al.* 1991 e 1994).

Duas gerações de diques máficos de direção predominantemente NS cortam os terrenos granito-gnáissicos do Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes. A primeira geração está restrita aos gnaisses, mais antigos, de idade em torno 3,2-2,8 G.a. (Machado & Carneiro 1992) e a segunda secciona uma suite de granitóides (2,7 Ga) (Machado & Carneiro 1992)

que atravessam os terrenos granito-gnáissicos (Silva *et al.* 1991b, Silva *et al.* 1995). Chemale Jr. *et al.* (1991 e 1994) consideram que há uma nítida relação entre estes corpos granitóides e as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas. Assim, admite-se que estes diques básicos também cortam o *Greenstone Belt* Rio das Velhas e, portanto, fica caracterizada uma suite de corpos básicos restritos não só ao embasamento, mas também as sequências arqueanas (Silva *et al.* 1991b, Silva *et al.* 1995).

De acordo com Endo & Carneiro (1996), a coincidência das direções estruturais NS, nos complexos metamórficos e nas supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, mostra que estes segmentos foram alvos de sucessivas reativações tectônicas de zonas de fraquezas crustais, de natureza dúctil a rúptil, geradas a partir do Mesoarqueano.

#### Dados geocronológicos

As determinações U/Pb em zircão, disponíveis na literatura, para os diversos litotipos do Supergrupo Rio das Velhas mostram variações de quase 260 Ma (Carneiro *et al.* 1995). O registro geocronológico mais antigo para o Supergrupo Rio das Velhas foi determinado em metafelsitos que ocorrem nas imediações do Complexo Metamórfico de Caeté. Um dos zircões fornece uma idade  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  da ordem de 3029 Ma (Machado *et al.* 1989 e 1992). Três idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , mais jovens, foram encontradas em zircões de metafelsitos que ocorrem nas imediações do Complexo Metamórfico do Bonfim e mostram valores que variam de 2912-2772 Ma (Machado *et al.* 1989).

Segundo Carneiro *et al.* (1995), os dados dos gnaisses estudados mais antigos da região (Bonfim e Belo Horizonte) sugerem duas idades mínimas de residência crustal: 2,92 e 2,86 Ma, indicativas de uma evolução policíclica. A primeira fase poderia corresponder à principal fase do vulcanismo félsico do Supergrupo Rio das Velhas, que seria contemporâneo ao episódio de retrabalhamento crustal e magmatismo calci-alcalino nos complexos. Outra alternativa seria considerar que o pacote atual do Supergrupo Rio das Velhas é resultado do empilhamento estrutural de duas ou mais sequências vulcano-sedimentares de diacrônicas do arqueano, onde os resultados U-Pb discordantes refletiriam evolução de *greenstones belts* distintos.

#### Mineralizações

O Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se como uma das maiores províncias auríferas mundiais. Ribeiro-Rodrigues (1998) classifica os depósitos desta região em três tipos distintos, de acordo com sua idade e a natureza das rochas encaixantes: (a) Os depósitos

hospedados no *greenstone belt* arqueano; (b) Os depósitos hospedados nos metassedimentos proterozóicos; (c) Os depósitos supergênicos e aluvionares de idade cenozóica. Os depósitos hospedados em rochas do *greenstone belt* arqueano são responsáveis por 53% da produção histórica e constituem a maioria das minas antigas e ativas. Estes depósitos arqueanos podem ser classificados em estratiforme/*stratabound* ou os relacionados com zonas de cisalhamento/veios de quartzo hospedados em vulcânicas, formações ferríferas bandadas, *cherts* ou sedimentos. Os depósitos hospedados nos sedimentos proterozóicos têm contribuído com 8% da produção de ouro, enquanto que os cenozóicos com cerca de 39%.

Segundo Ribeiro-Rodrigues (1998), embora ocorrências de ouro sejam encontradas em todas as unidades do Supergrupo Rio das Velhas e em quase todos os litotipos, as formações ferríferas bandadas são de longe as mais importantes hospedeiras das mineralizações auríferas economicamente viáveis. Este Supergrupo apresenta uma produção de 36 kg Au/km<sup>2</sup> em formações ferríferas bandadas, que é bastante elevada quando se compara com os *greenstone* de outras regiões do mundo.

É de fundamental importância o controle estrutural como o fator responsável pela distribuição dos depósitos de ouro do QF. Ribeiro-Rodrigues (1998), identifica três estilos principais de mineralização: (a) estilo de substituição *strabound*/estratiforme associado com as formações ferríferas; (b) substituição em zona de cisalhamento representada por sulfetos disseminados que ocorrem em zonas de cisalhamento dentro de metavulcânicas ricas em ferro e metassedimentos; (c) veios de quartzo de zonas de cisalhamento associados com veios de quartzo e/ou carbonato que preenche fraturas cisalhantes dentro das metavulcânicas e metassedimentos.

### 4.3 Interpretação geofísica

A interpretação qualitativa envolveu principalmente a análise visual. A técnica usada foi à sobreposição, comparação e interpretação de todos os produtos que indicavam feições e unidades magnéticas para suas transcrições às geológicas.

As interpretações foram realizadas e digitalizadas em ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG) do programa *ArcGis 9.1* (ESRI, 2005). Os dados são dispostos em camadas que representam a distribuição espacial de um determinado objeto geograficamente referenciado.

O estudo do relevo do campo magnético anômalo (Figuras 3.28 e 3.35) foi auxiliado por suas transformações lineares. A amplitude do sinal analítico indica as posições horizontais dos contatos ou limites das fontes magnéticas e define muitas feições lineares (Figuras 3.29 e 3.36). A imagem da inclinação do sinal analítico foi utilizada para extrair grande quantidade de estruturas lineares e sua textura usada para delimitar os domínios magnéticos (Figuras 3.30, 3.31, 3.37 e 3.38). A derivada vertical dá uma imagem do campo magnético por suas fontes mais rasas (Figuras 3.32 e 3.39). O gradiente horizontal total complementa a amplitude do sinal analítico nas localizações espaciais das fontes relativas na superfície bidimensional (Figuras 3.33 e 3.40). A composição da amplitude do sinal analítico sobre o relevo da inclinação do sinal analítico nos proporciona uma combinação dos limites das fontes magnéticas sobre a textura do relevo magnético (Figuras 3.34 e 3.41).

As estruturas foram visualizadas em forma de lineações e extraídas dos produtos magnéticos. O uso dos diversos produtos pode identificar a continuidade de muitos lineamentos. No mapa de amplitude do sinal analítico o alinhamento de cristas do relevo com alta amplitude e os alinhamentos em baixos magnéticos formam os principais lineamentos. No mapa da inclinação do sinal analítico a mudança de tons mais escuros para tons mais claros indicou uma grande quantidade de feições. A partir dos dados aerogeofísicos foram produzidos dois produtos: lineamentos magnetométricos e domínios magnetométricos.

Um critério importante utilizado para a interpretação dos dados de ambas as integrações é relativo a algumas marcas que ficaram na sutura dos levantamentos e dos blocos integrados do CGBA. Em alguns locais, todos os procedimentos utilizados não foram suficientes para anular as cicatrizes. Foi decidido manter o produto com a melhor suavização do que aplicar filtros mais possantes, como os passa-baixa. Com certeza é mais importante preservar os sinais de alta frequência do que os problemas de sutura. Os limites dos levantamentos e blocos foram usados para garantir uma correta interpretação.



#### 4.4 Interpretação e integração dos dados geofísicos e geológicos do levantamento CGBA

A área de recobrimento do CGBA é bem abrangente e de uma complexidade geológica muito grande, por isso o que será discutido é uma tentativa de indicar as assinaturas geofísicas mapeadas e dar uma amostra do quanto à geofísica pode contribuir para o conhecimento geológico da região. A área localiza-se na porção sul do Cráton São Francisco, recobre as coberturas neoproterozóicas; parte das Faixas Móveis Araçuaí, Ribeira e Brasília; e o Quadrilátero Ferrífero (Figura 4.4).

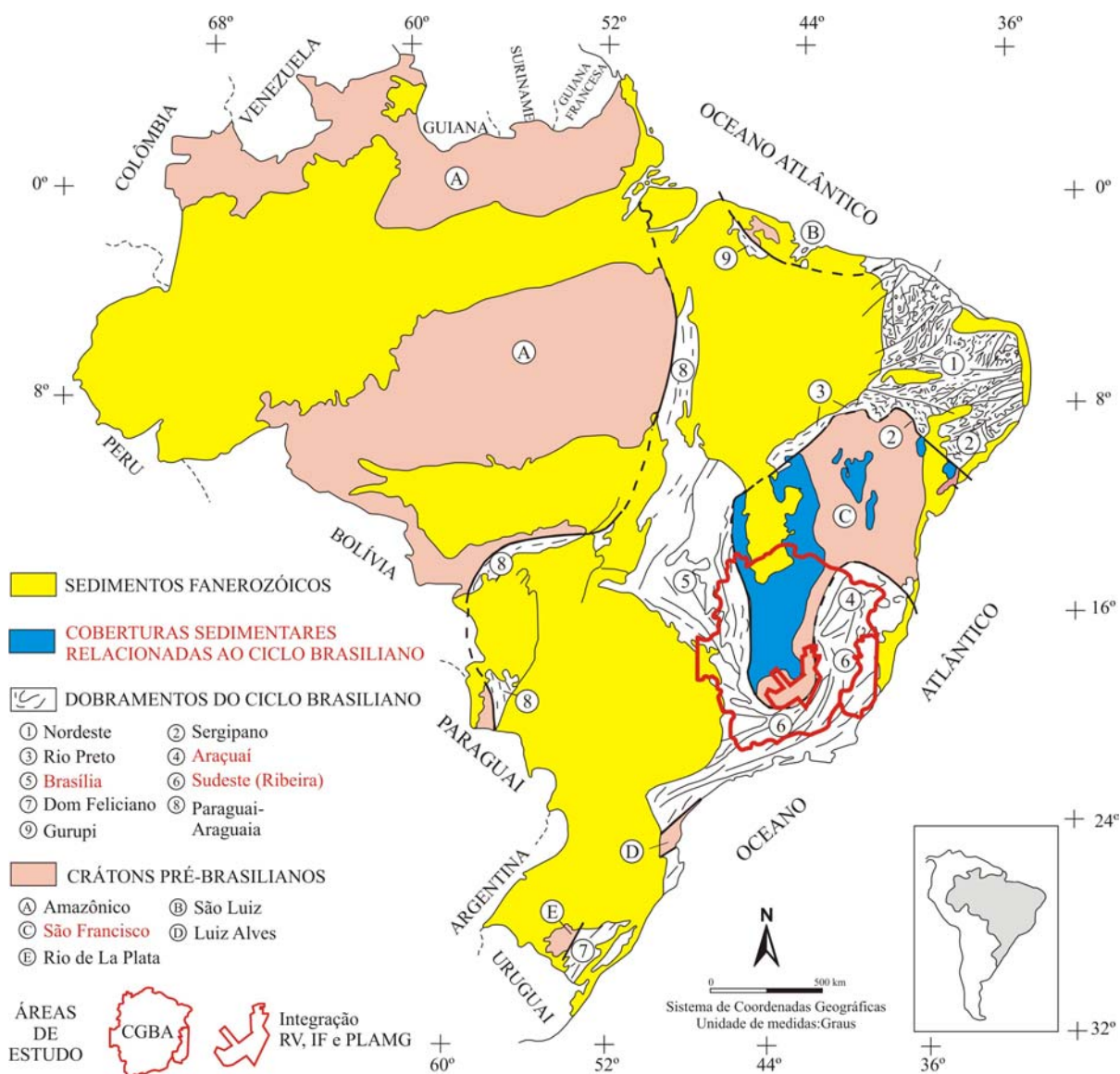


Figura 4.4 – Mapa Geotectônico do Brasil com a localização dos aerolevantamentos que recobrem a porção sul do Cráton São Francisco, uma parte das Faixas Móveis Araçuaí (4), Brasília (5) e Ribeira (6), e coberturas neoproterozóicas (Schobbenhaus e Campos, 1984).

Na interpretação da imagem do campo magnético anômalo observam-se duas estruturas regionais em forma de arco (“U”), compostas pela variação de altos magnéticos (cores quentes) com baixos magnéticos (cores frias) em relação à distribuição espacial (Figura 4.5).

A estruturação mais externa bordeja toda a área do CGBA com valores positivos e vem seguida, internamente, pela mesma estruturação em valores negativos (Figura 4.5 - A). No centro, a estruturação é de mais difícil interpretação, mas está bem delimitada pelo Quadrilátero Ferrífero, a sul (Figuras 4.5 – Ba e 4.6), e pela anomalia de Pirapora, a norte (Figuras 4.5 e 4.6 – Bb).

Na integração com a geologia a estruturação externa está relacionada com as faixas móveis, Araçuaí, a leste; Ribeira, a sul; e Brasília a oeste (Figura 4.6 - A).

A estruturação central está associada a um núcleo arqueano / paleoproterozóico de rochas metamórficas de médio a alto grau e granitóides do Cráton São Francisco (Figura 4.6 - B).

A importância do mapeamento destes arcos está relacionada à definição do arcabouço magnético-estrutural regional que pode ser muito bem observado pelas assinaturas que formam um padrão côncavo em que as Faixas Móveis Araçuaí, Ribeira e Brasília circundam o embasamento cristalino do Cráton São Francisco (Figura 4.5).

Toda a extensão centro-oeste e noroeste do GCBA têm assinaturas magnéticas que pertencem às rochas cristalinas do embasamento que se encontram sobrepostas por extensas coberturas neoproterozóicas das rochas sedimentares e metasedimentares representadas principalmente pelo Grupo Bambuí (Figura 4.6 – 21).

Como exemplo, temos a anomalia de Pirapora que tem comprimento de onda de aproximadamente 150 km com pólo negativo a norte e pólo positivo a sul, assim como uma infinidade de estruturas do embasamento (Figura 4.5 – Bb e Figura 4.7).

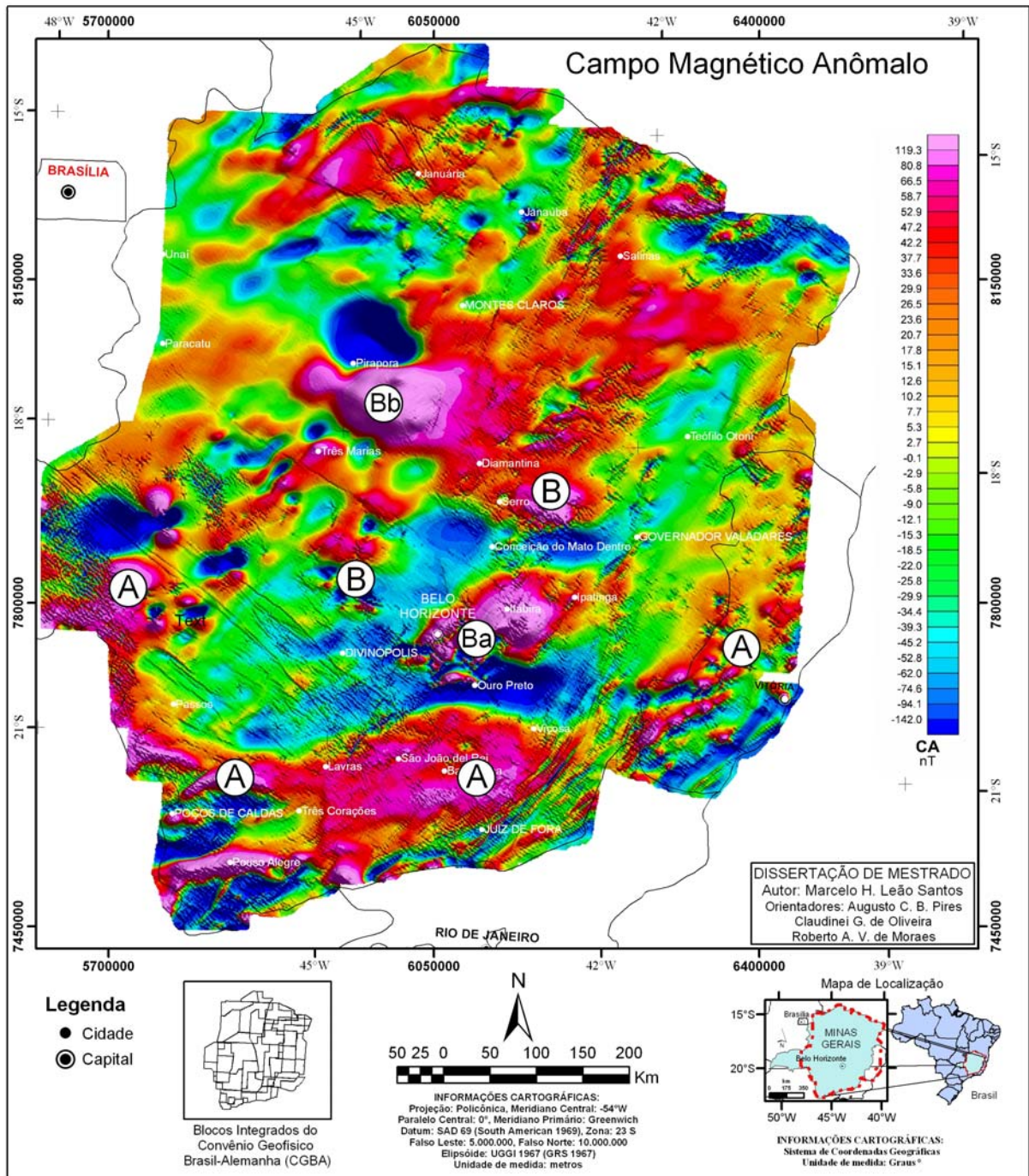


Figura 4.5 - Interpretação de estruturas regionais em forma de arco (A e B) na imagem do campo anômalo, compostas pela variação de altos magnéticos (cores quentes) com baixos magnéticos (cores frias) em relação à distribuição espacial. A – Estruturação côncava externa; B – Estruturação côncava central; Ba – Quadrilátero Ferrífero; Bb – Anomalia de Pirapora.



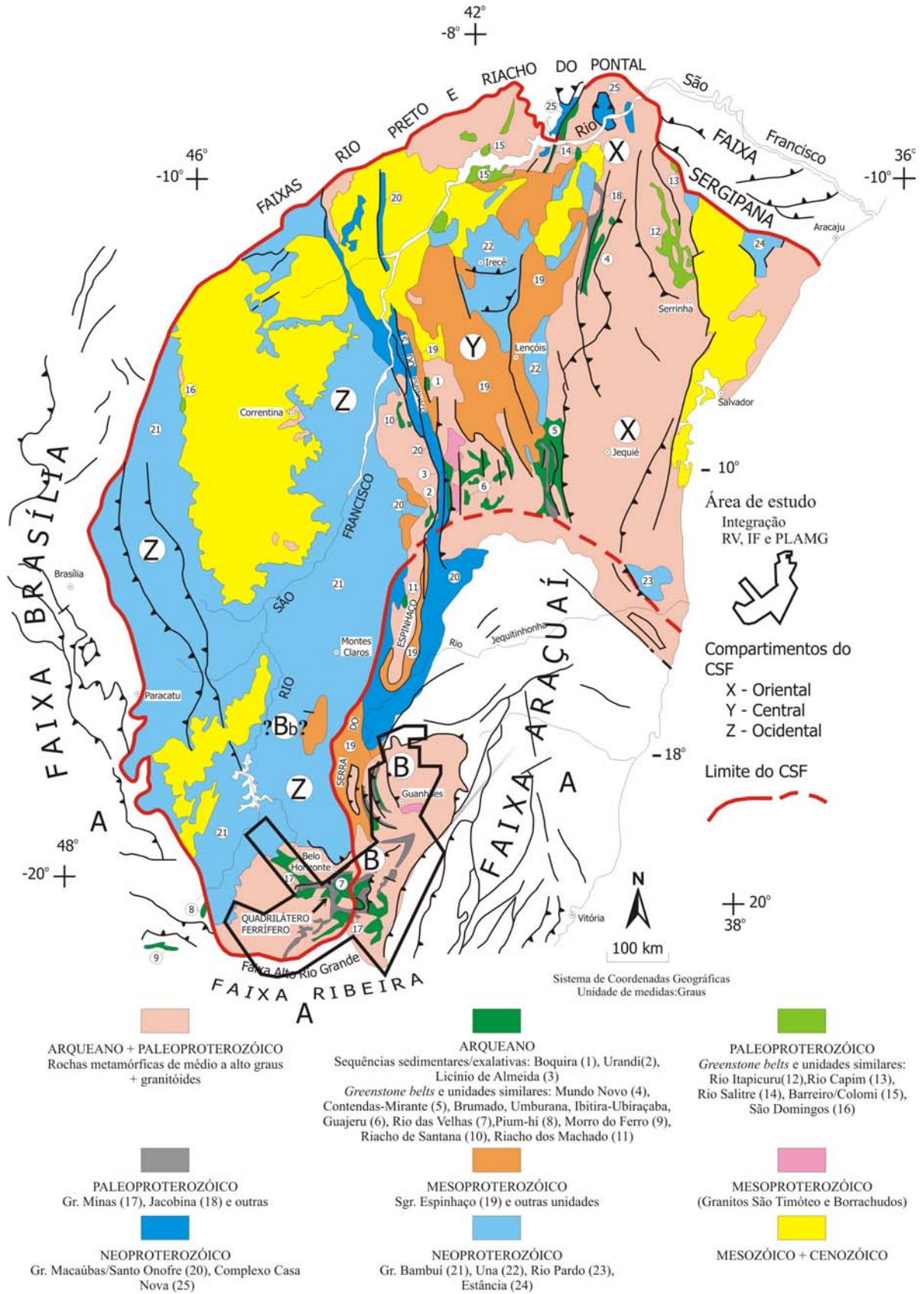


Figura 4.6 – Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco com a indicação das estruturas regionais interpretadas no campo anômalo do CGBA – A e B (Modificado de Schobbenhaus e Bellizzia, 2000). Limites do cráton segundo Almeida (1977), Alkmim *et al.* (1993) e Baars (1997). Bb – Anomalia de Pirapora.



Como já foi dito, não foi objetivo uma correlação com o mapa geológico do Estado de Minas Gerais, de grande complexidade. Mas, mostrar como dados antigos, com um processamento de qualidade, podem contribuir para o conhecimento geológico da região.

Os domínios magnéticos foram interpretados como grandes blocos regionais com relevo magnético de altas frequências mais marcantes. Estes foram correlacionados com a geologia regional que deram nome aos domínios (Figura 4.7).

Os blocos mais importantes e que chamam mais atenção são: o Quadrilátero Ferrífero (Figura 4.7-QF) no centro sul do estado e a grande anomalia de Pirapora (AP) do embasamento que está coberta por rochas neoproterozóicas. Também são observadas várias estruturas do embasamento (EE) que estão sobrepostas pelas mesmas coberturas.

Complexos e formações das faixas móveis formam extensos domínios, como a Formação Serra Geral (FSG), o Complexo Varginha (CV), o Complexo Juiz de Fora (CJF) e o domínio da Serra do Mar (SM). O Complexo Guanhanês (CG) e o Grupo Macaúbas (GM) formam domínios menos extensos. Uma região dominada por granitos e granitóides (GG) também está bem marcada no nordeste do estado.

As Suítes Alcalinas Araxá (SAA), Tapira (SAT), Serra Negra e Salitre (SAS), são pequenos domínios de altos magnéticos isolados no centro-oeste do estado. A Suíte Alcalina de Poços de Caldas (SAP), quando observada em detalhe, está muito bem delineada por sua estrutura circular que fica ofuscada por estar envolta pelo domínio do Complexo Varginha de altos magnéticos.

O limite do Cráton São Francisco foi correlacionado com as imagens magnetométricas, a interpretação nos diversos produtos transformados delineiam a continuidade do limite em cada trecho, que está associado a um relevo magnético acidentado e até lineamentos em relevos magnéticos mais suaves. As discontinuidades geofísicas marcam as propostas de limites segundo Almeida (1977), Alkmim (1993) Baars (1997) e a proposta mais recente segundo Peres *et al* (2004).

O lineamento que marca a atuação do paleoproterozóico no complexo metamórfico do embasamento do cráton também marca uma discontinuidade geofísica, assim como a sutura neoproterozóica que separa a Faixa Araçuai do núcleo cristalino a leste.

Estes limites serão abordados mais à frente na interpretação e integração de mais detalhe dos levantamentos RV, IF e PLAMG.

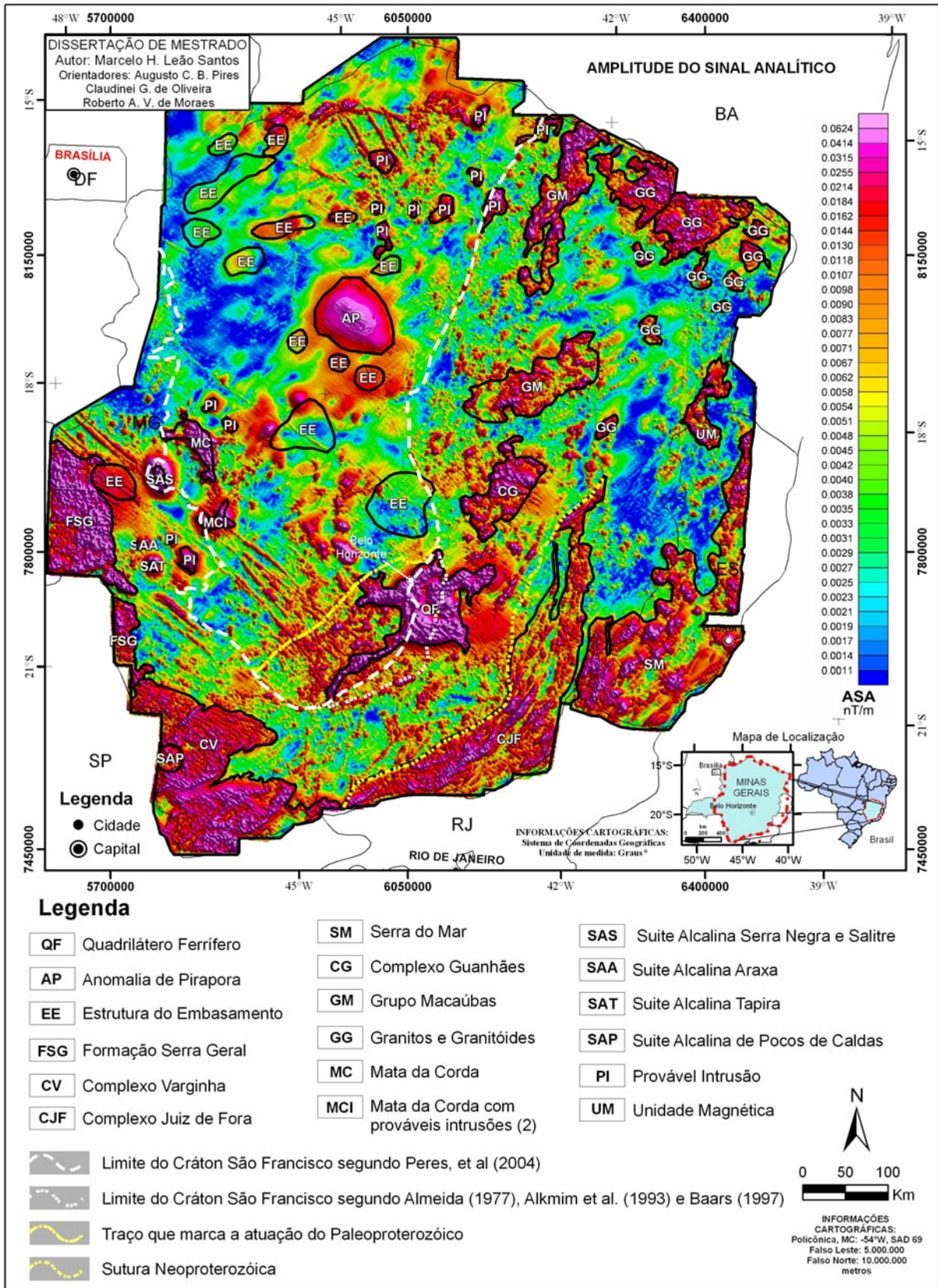


Figura 4.7 – Mapa dos domínios magnéticos regionais simplificados do CGBA, dos limites do Cráton São Francisco, do traço que marca a atuação do paleoproterozóico e da sutura neoproterozóica.

Os lineamentos magnéticos interpretados mostraram uma maior concentração no centro-sudeste da área. Mais no noroeste da área existem poucos lineamentos que voltam a ocorrer no extremo norte (Figura 4.8).

Podemos observar claramente a tendência do arqueamento da estruturação das faixas móveis que bordeja o sul da área que muda de noroeste para nordeste.

Os lineamentos de grande extensão com direção NW-SE que cortam toda a área estão correlacionados aos diques magnéticos (Figura 4.8).

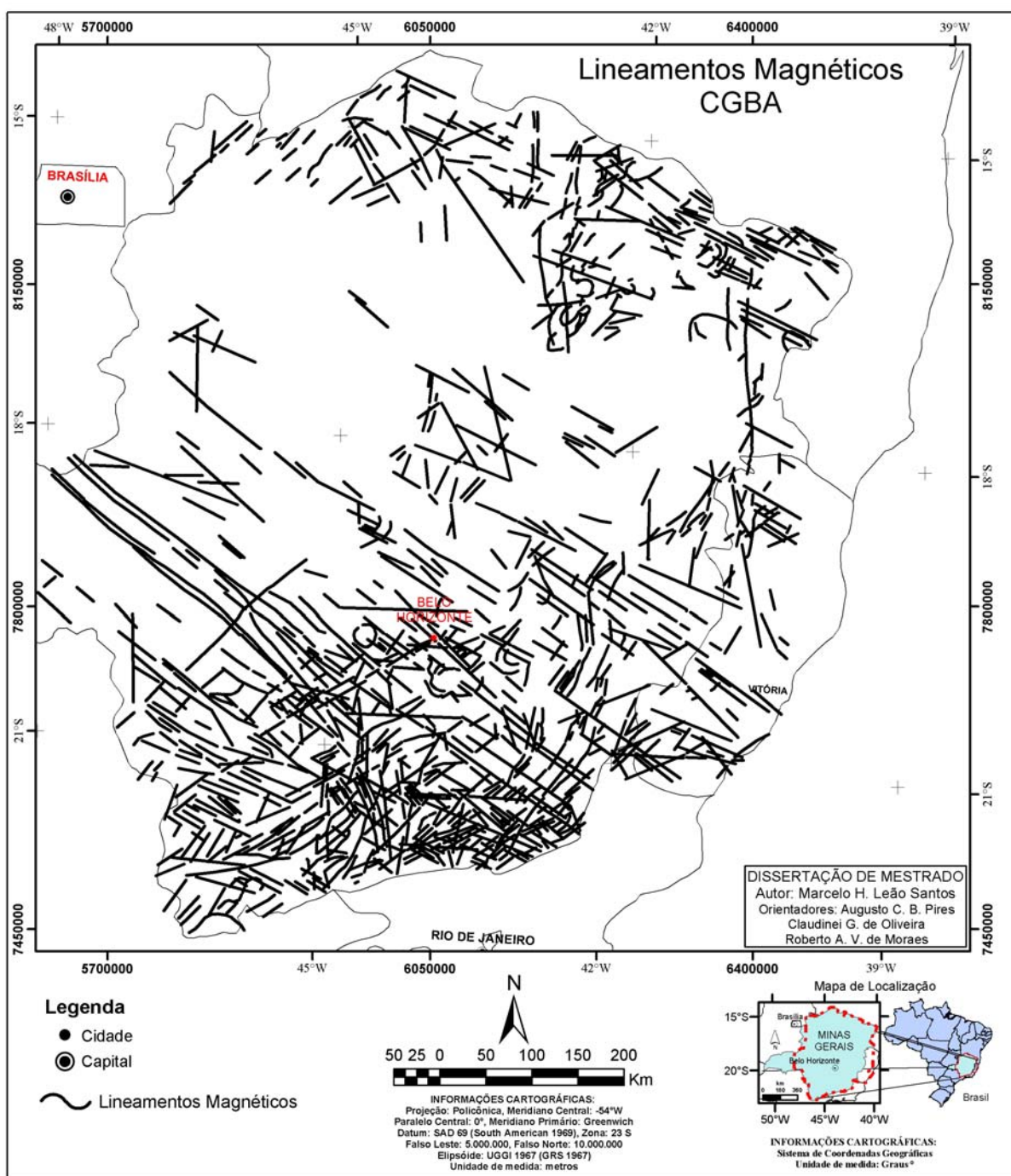


Figura 4.8 – Mapa dos lineamentos magnéticos regionais simplificados do CGBA.



## 4.5 Interpretação geofísica da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG

### 4.5.1 Lineamentos magnetométricos

Os produtos de alta densidade podem ser utilizados até uma escala de semidetalhe com resolução espacial compatível. O mapa interpretativo final mostra uma riqueza imensa de lineamentos devido a grande qualidade dos produtos transformados finais (Figura 4.9).

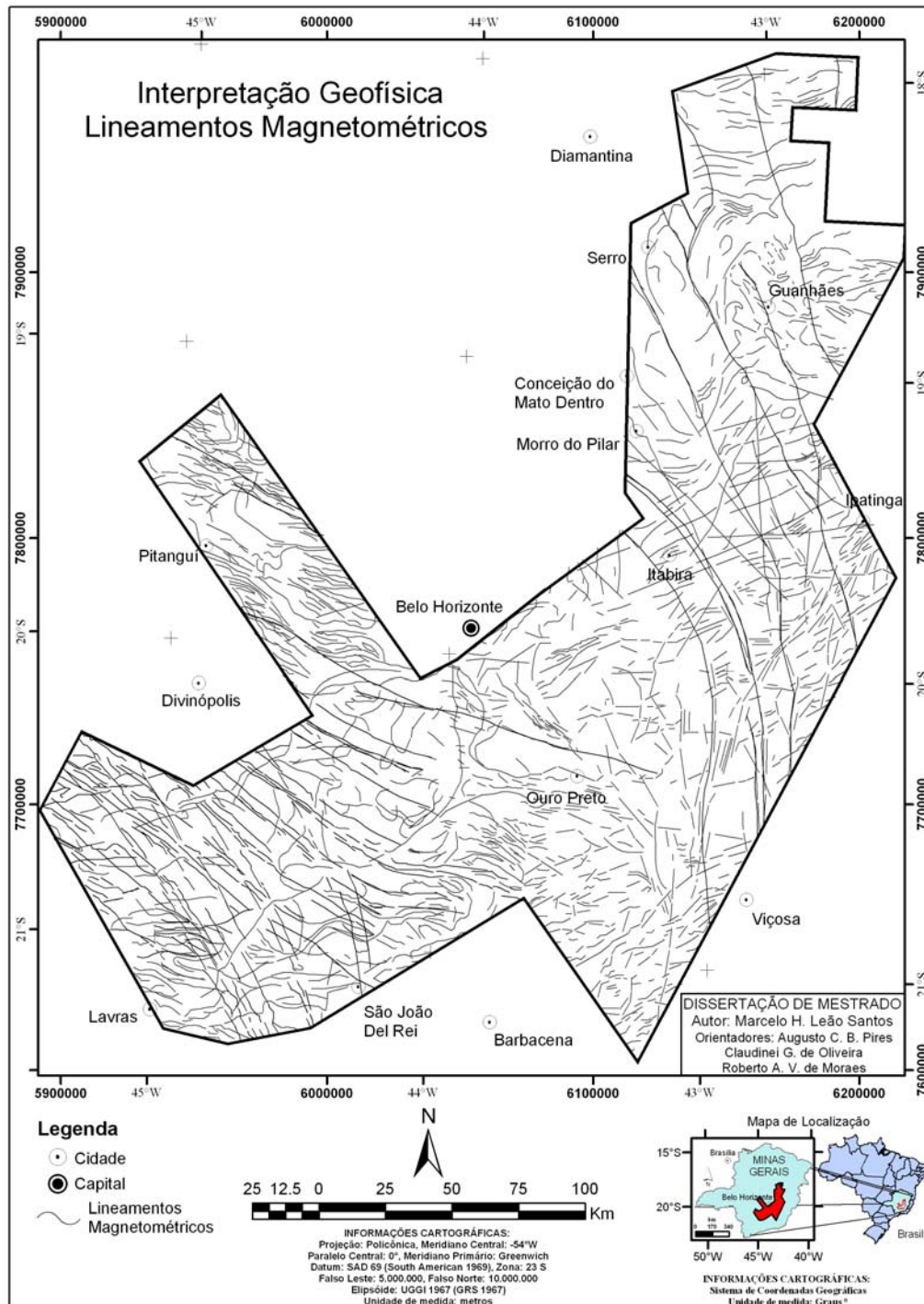


Figura 4.9 – Mapa dos lineamentos magnetométricos interpretados dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG.



#### 4.5.2 Domínios magnetométricos

Todos os produtos foram utilizados para gerar o mapa de domínios magnetométricos, mas os principais produtos foram a amplitude do sinal analítico e a inclinação do sinal analítico, que mostram com muita clareza o relevo magnético da região (Figura 4.10).

Os domínios foram delimitados em cinco classes de respostas magnéticas distintas que indicam o relevo magnético (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Classificação dos domínios em relação ao relevo magnético.

	<b>Respostas Magnéticas</b>	<b>Relevo Magnético</b>
1	Muito Alta	Relevo magnético muito acidentado
2	Alta	Relevo magnético acidentado
3	Média	Relevo magnético médio
4	Baixa	Relevo magnético suave
5	Muito Baixa	Relevo magnético muito suave

1 - Relevo magnético muito acidentado: as estruturas e feições são muito bem definidas, principalmente na amplitude do sinal analítico.

2 - Relevo magnético acidentado: tem valores magnéticos elevados, mas as estruturas e feições não são tão bem definidas na amplitude do sinal analítico como no anterior.

3 - Relevo magnético médio: as estruturas e feições não aparecem com clareza, e representa uma transição entre os relevos acidentados e os suaves.

4 - Relevo magnético suave: indica poucas e raras anomalias de maior frequência em locais com baixa resposta magnética.

5 - Relevo magnético muito suave: domínios com ausência de resposta magnética onde o relevo magnético é plano.

A classificação do relevo magnético foi gerada de acordo com a particularidade e o contraste entre os domínios existentes em cada bloco regional (Figura 4.10).

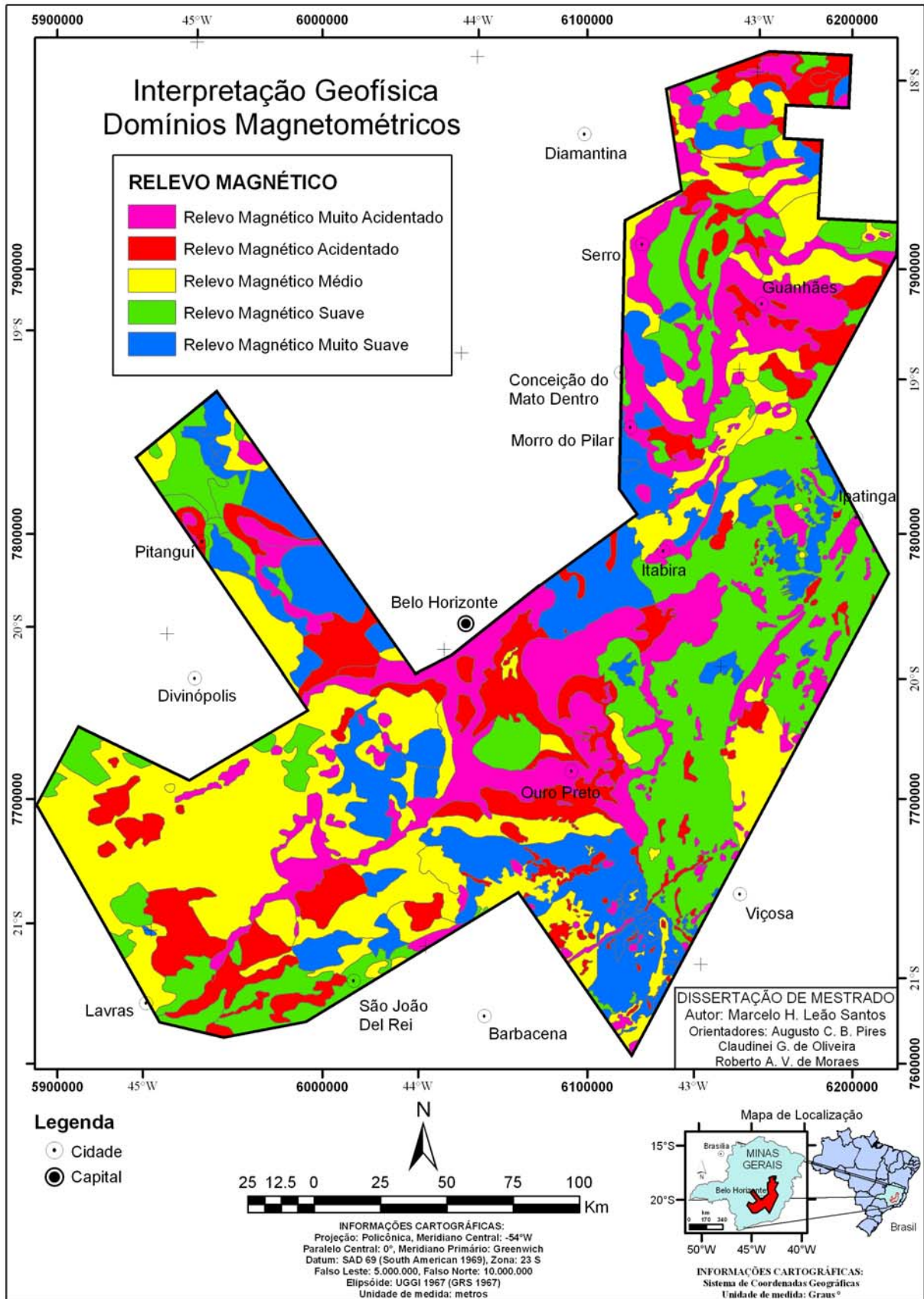


Figura 4.10 – Mapa dos domínios magnetométricos classificados do relevo magnético dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG.

### 4.5.3 Mapa interpretativo magnetométrico

O mapa interpretativo geofísico integrado foi composto pelos lineamentos extraídos em escala de semi-detulhe a regional, e pelos domínios classificados do relevo magnético. O produto final da interpretação geofísica consistiu em um mapa que mostra bem a variação e riqueza do relevo magnético, e a imensa quantidade de estruturas e feições magnéticas desta porção do Estado de Minas Gerais (Figura 4.11).

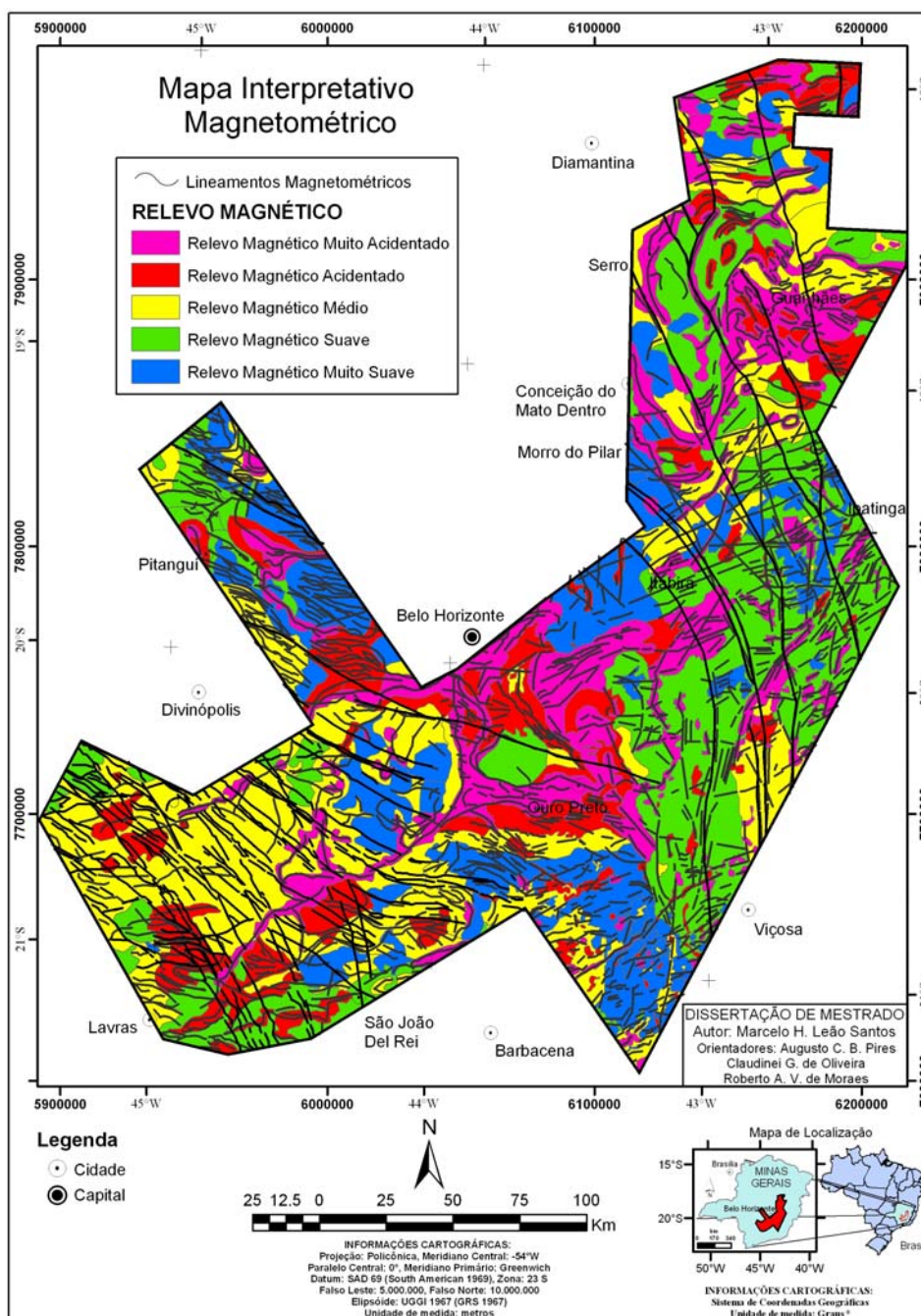


Figura 4.11 – Mapa interpretativo magnetométrico dos produtos transformados da sutura dos levantamentos RV, IF e PLAMG.

#### 4.6 Integração dos dados geofísicos e geológicos dos levantamentos RV, IF e PLAMG

Os domínios e as estruturas interpretadas na etapa anterior foram correlacionados com a geologia regional da base de dados do Sistema de Informações Geográficas (SIG) da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo da CPRM do ano de 2004. As folhas de escala 1:1.000.000 utilizadas foram: SE 23 – Belo Horizonte e SF 23 – Rio de Janeiro (Schobbenhaus; *et al*, 2004). A correlação mais importante está relacionada à atuação do paleoproterozóico no Cráton São Francisco, aos seus limites e aos limites da Faixa Araçuaí. Também foi feita uma correlação com a bibliografia geológica conhecida do Quadrilátero Ferrífero.

A partir dos produtos transformados da magnetometria e dos mapas interpretativos, foi realizada uma análise de identificação de estruturas lineares. Estas estruturas indicam importantes zonas de falhas, muitas vezes caracterizadas por mineralizações. Esta análise também foi feita junto com as unidades magnéticas para correlacionar os blocos tectônicos e a compartimentação estrutural da área.

Da integração com a geologia foram gerados três importantes produtos: lineamentos magnéticos, diques magnéticos e arcabouço magnético-estrutural.

A confrontação dos dados mostrou similaridades entre o levantamento geológico e os produtos magnetométricos, como relações geológicas e estruturais associadas às anomalias magnéticas na região.

Com a integração entre geologia e geofísica, foram observadas boas respostas de altos magnéticos associados às regiões mapeadas geologicamente como falhas de empurrão. Em compensação, várias estruturas não estão mapeadas, assim como uma melhor diferenciação dos litotipos poderia ser feita com a classificação do relevo magnético.

Na figura 4.12 temos uma comparação das estruturas mapeadas e dos lineamentos magnéticos interpretados. Podemos observar como o dado nos proporcionou um refinamento nos lineamentos e tendências estruturais da área. Mais uma vez, é fácil notar como a geofísica pode contribuir com o mapeamento de áreas com este nível de complexidade.



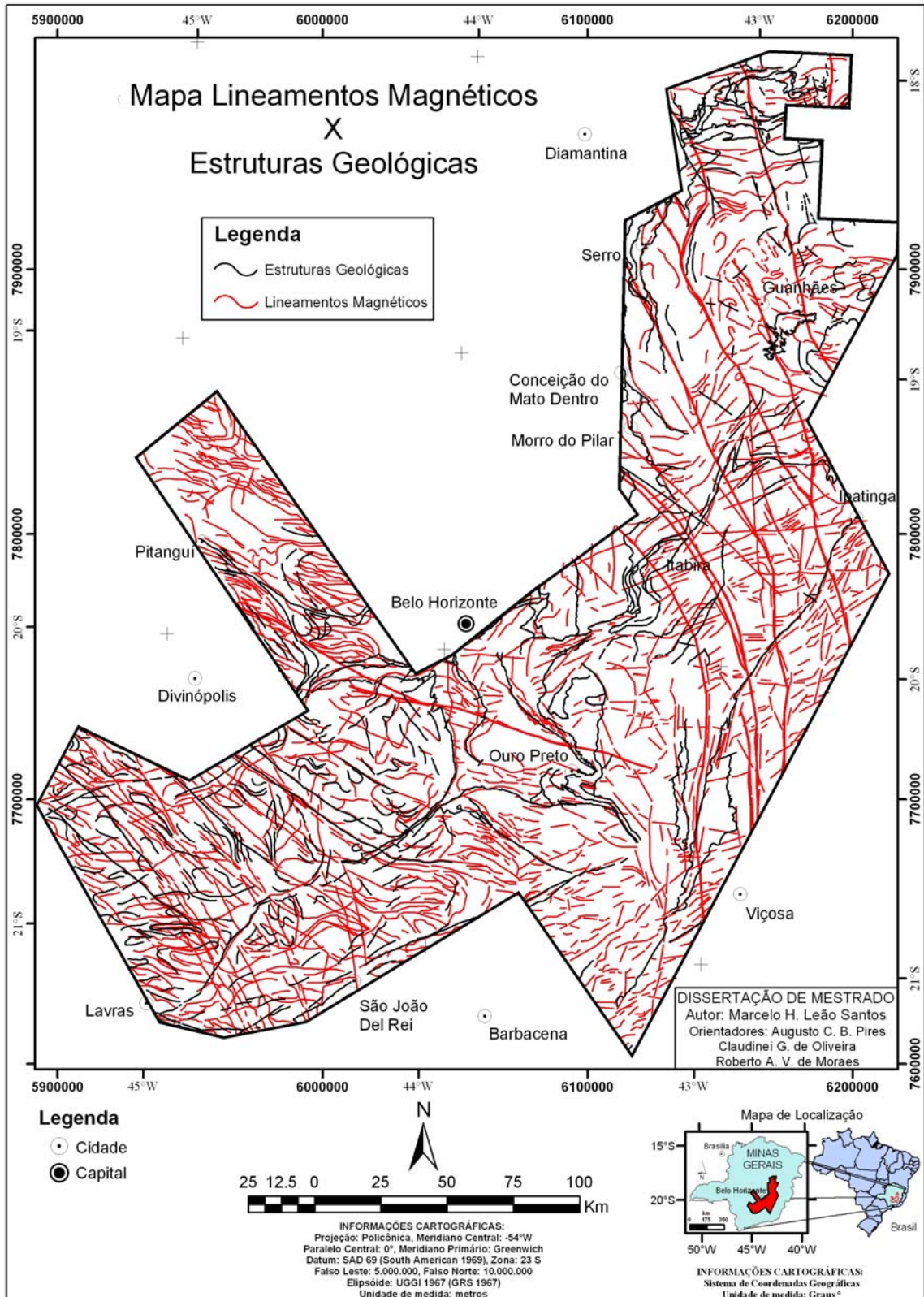


Figura 4.12 – Mapa de comparação das estruturas mapeadas na cartografia geológica existente (Schobbenhaus; *et al*, 2004) e dos lineamentos magnéticos interpretados.

Os produtos foram correlacionados com o mapa de idades geológicas (Figura 4.13) para se obter uma interpretação simplificada e genérica da compartimentação da área.

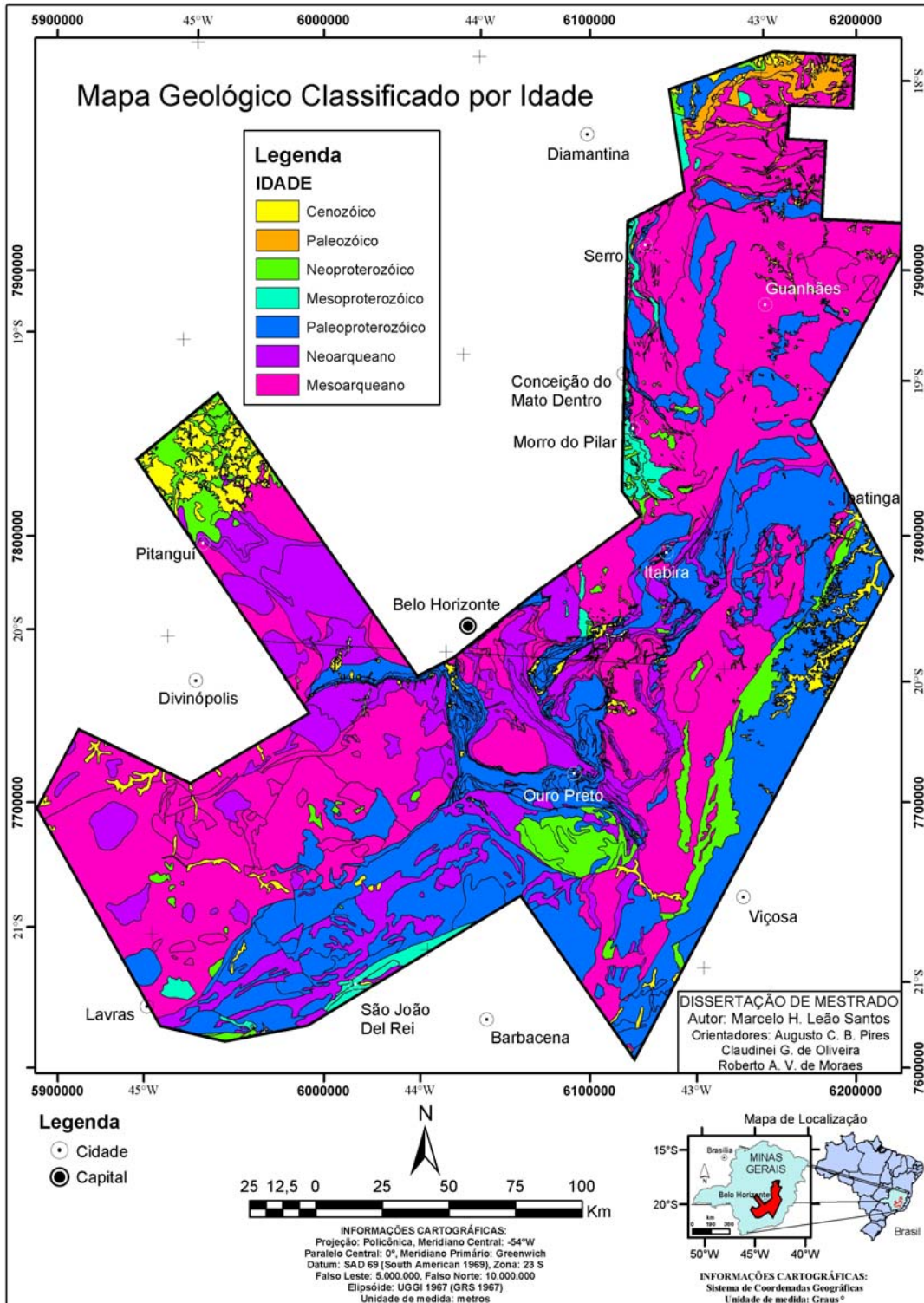


Figura 4.13 – Mapa geológico classificado pela idade mínima (Schobbenhaus; *et al*, 2004).

Os segmentos do embasamento do Cráton São Francisco são: a plataforma paleoproterozóica, que representa o bloco arqueano estável do cráton, e os dois fragmentos de um orógeno paleoproterozóico no interior do cráton, o Cinturão Mineiro e a faixa orogênica do leste da Bahia (Alkmim, 2004) (Figura 4.14).



As imagens magnetométricas foram correlacionadas com o mapa geológico do Cinturão Mineiro para se definir os limites do Cráton São Francisco e o limite de atuação do paleoproterozóico no complexo arqueano. Foi observada uma descontinuidade geofísica NE que delimita a zona de influência do Evento Transamazônico que afeta o complexo metamórfico arqueano por deformação ou ação termal (Figuras 4.16 e 4.17).

O Cinturão Mineiro compreende o complexo metamórfico basal, as supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, o Grupo Itacolomi, e os granitóides arqueanos e paleoproterozóicos (Alkmim, 2004) (Figura 4.14).

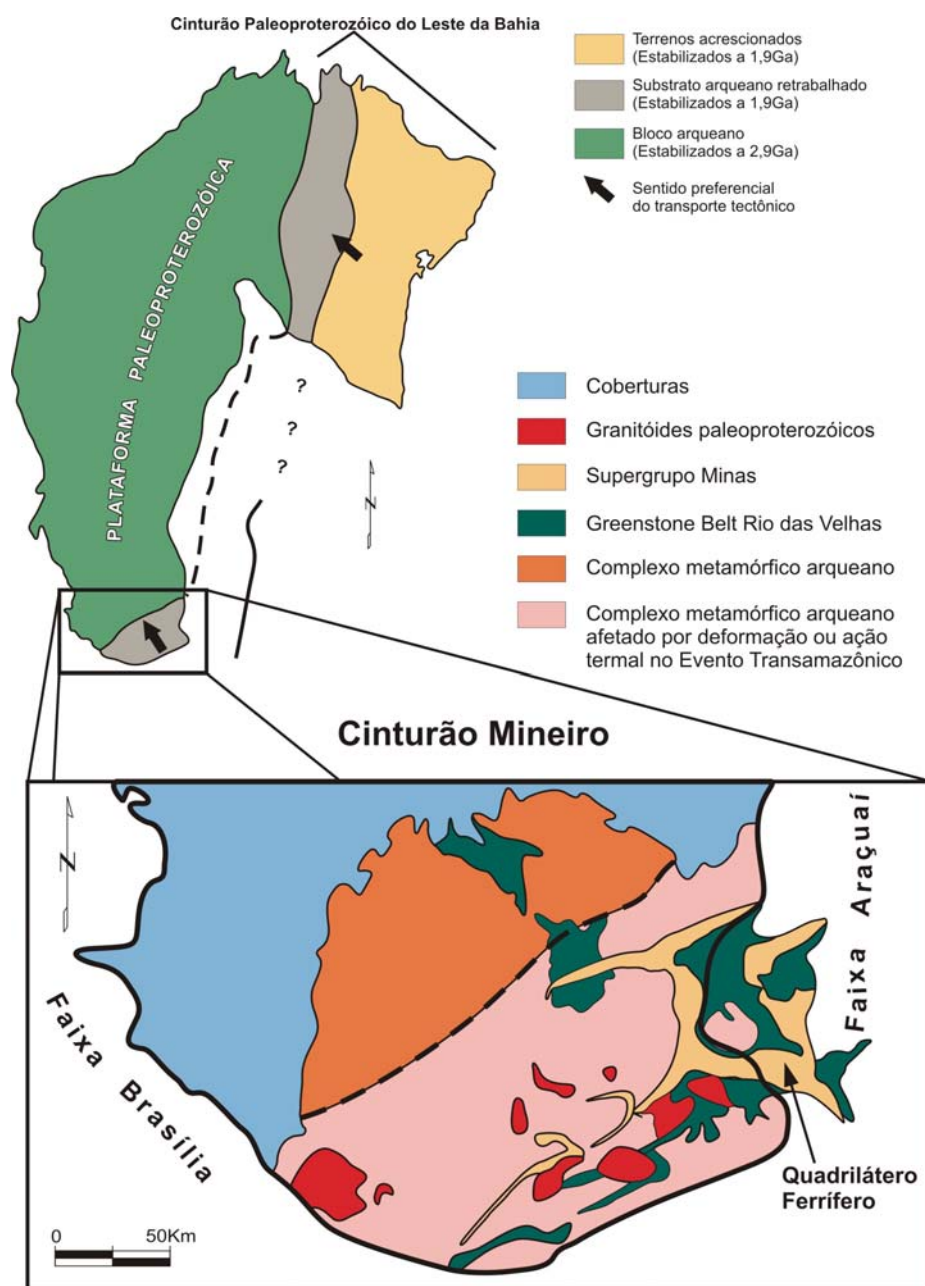


Figura 4.14 – Componentes do embasamento e mapa geológico do extremo sul do Cráton São Francisco (Cinturão Mineiro de Teixeira *et al*, 1996b) (Alkmim, 2004).

Os limites do Cráton São Francisco e da Faixa Araçuaí foram correlacionados com as imagens para se definir as discontinuidades mais marcantes.

A Faixa Araçuaí corresponde a um orógeno neoproterozóico, está à leste-sudeste do Cráton São Francisco e está separada do núcleo cristalino do orógeno pela descontinuidade geofísica de Abre Campo (Figuras 4.15, 4.16 e 4.17). As principais unidades da Faixa Araçuaí são: os gnaisses arqueanos e paleoproterozóicos do Complexo Mantiqueira, o Charnockito Pedra Dourada, os granitóides paleoproterozóicos Borrachudos e as rochas metavulcanosedimentares do Grupo Dom Silvério (Peres *et al*, 2004) (Figura 4.15).

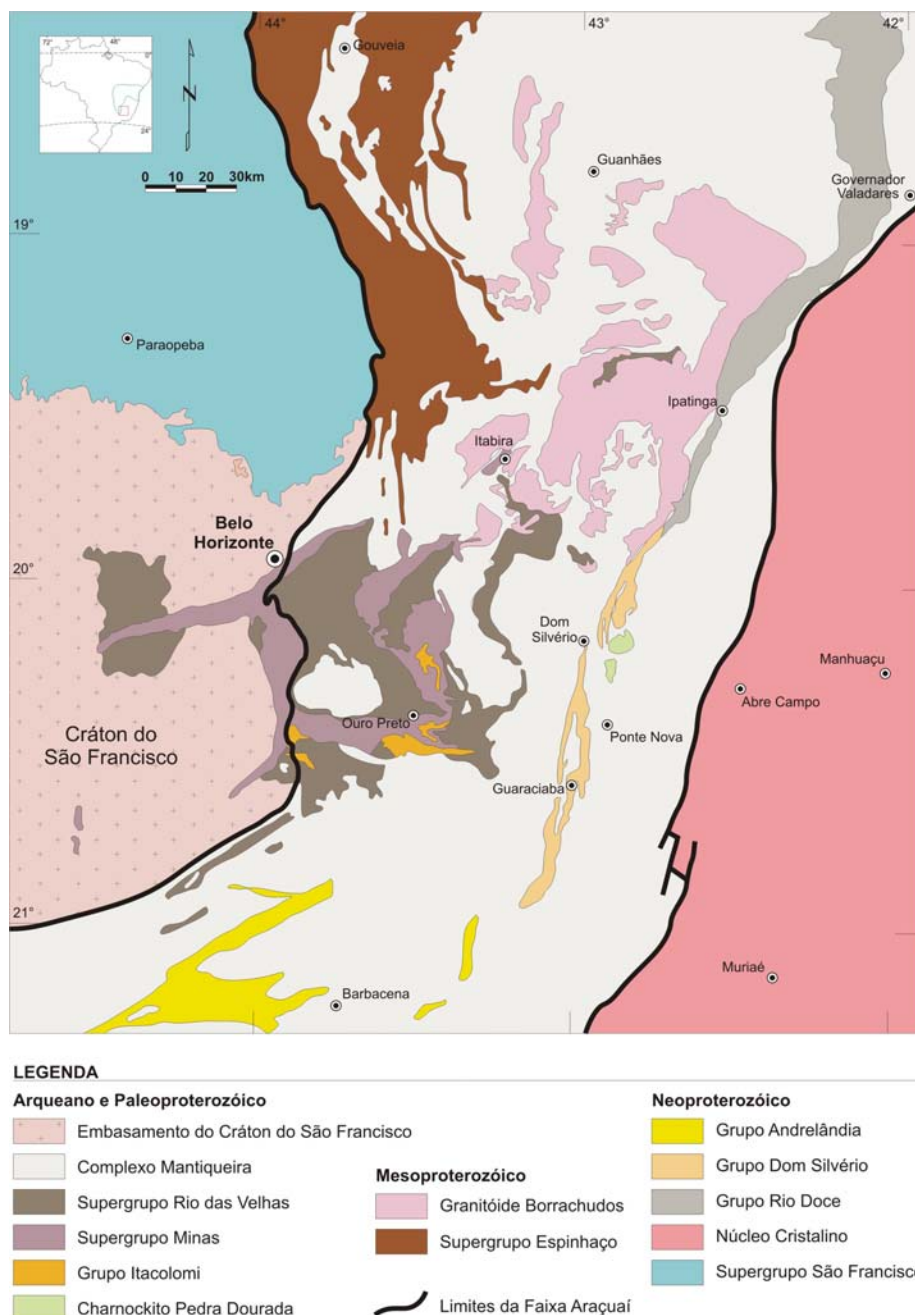


Figura 4.15 – Mapa geológico da porção sul da Faixa Araçuaí e dos limites com o Cráton São Francisco e núcleo cristalino (Peres *et al*, 2004).



Com o resultado da integração das imagens magnetométricas com geologia foi definido o arcabouço magnético-estrutural da porção sul do Cráton São Francisco (Figura 4.16) que foi dividido em blocos magnéticos regionais.

Podemos dividir a área nos seguintes blocos (Figura 4.16):

Os Blocos A, B, C e D pertencem ao Cinturão Mineiro (exceto cobertura neoproterozóica).

A - Bloco do Quadrilátero Ferrífero. Constituído pelos terrenos granito-gnáissicos do Complexo Bação no centro sul do bloco, pelas rochas arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas e paleoproterozóicas do Supergrupo Minas. Este bloco está muito bem definido pelos itabiritos e por suas estruturas, como será mais bem detalhado;

B – Bloco composto predominantemente por rochas de idade arqueana. Representado pelos Complexos Bonfim (gnaisse e granodiorito), Lavras (granito, granitóide, migmatito e gnaisse granulítico), e Divinópolis (granito e granodiorito). Tem uma série de intrusivas graníticas a tonalíticas, tipo o tonalito Samambaia e o granodiorito Santana do Paraopeba de idade 2.5 M.a. Também é composto pelo Grupo Nova Lima e pelos corpos ígneos paleoproterozóicos Alto Jacarandá (granito), Passa Tempo (granito) e Ribeirão Vermelho (charnockito). A análise do relevo magnético neste bloco foi prejudicada pela grande quantidade de diques magnéticos que influenciam nas respostas dos corpos adjacentes;

C – Bloco de características semelhantes ao Bloco B. Composto pelos terrenos granito-gnáissicos dos Complexos Belo Horizonte e Divinópolis. Pelos granitóides sin-tarditectônicos de idade 2.6 M.a. E pelas unidades máfica e químico-clástica do Grupo Nova Lima, e clástica do Grupo Maquiné. No noroeste do bloco afloram as coberturas neoproterozóicas do Grupo Bambuí;

D – Bloco separado do bloco B pelo Lineamento Jeceaba - Bom Sucesso, representado pela Serra do Bom Sucesso, tem idade neoarqueana com uma história evolutiva de deformação no paleoproterozóico. Formado pelas unidades clasto-química do Grupo Nova Lima com uma intensa contribuição meta-ígneia como da Suíte Alto Maranhão (granito, granodiorito, tonalito e migmatito).

Os Blocos E, F, G e H pertencem a Faixa Araçuai.

E – Bloco de idade mesoarqueana a paleoproterozóica. Representado pelo Complexo Mantiqueira (ortogneisse e anfibolito), Complexo Santa Bárbara (granito, granitóide e gnaiss), Supergrupo Rio das Velhas, suíte intrusivas paleoproterozóicas (Ressaquinha, Brás Pires, Palestina, Silverânia e Diogo de Vasconcelos) e granitos tipo Borrachudo de 1.6 Ma - Corpo Peti (granito) e Açucena (augen-gnaiss granítico e biotita granito);

G – Bloco de mesma característica que o E, formado pelos Complexos Belo Horizonte, Guanhões (gnaiss e granitóide) e Caeté (granito, granodiorito e gnaiss granítico), Grupo Nova Lima, e Supergrupo Minas: Grupos Caraça, Itabira (Itabirito) e Piracicaba. Neste bloco está muito bem caracterizada a Suíte Borrachudos (biotita granito, biotita-hornblenda granito augen-gnaiss granítico e ortogneiss). Observamos claramente o alto relevo magnético do minério de ferro (itabirito) explorado em Itabira;

H – Bloco semelhante aos blocos E e G sem contribuição dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas. Composto predominantemente pelo Complexo Guanhões (gnaiss e granitóide). Presença de corpos do tipo Borrachudos (Morro do Urubu, Senhora do Porto, São Félix e Cansanção);

F – Bloco separado do E pela Zona de Cisalhamento Dom Silvério, que tem a leste o Grupo homônimo (xisto, quartzito, e quartzito ferruginoso) e o Complexo Piedade.

Na figura 4.16 podemos observar a Zona de Cisalhamento direcional sinistral Dom Silvério, a Zona de Cisalhamento direcional dextral Pedra Branca, a Zona de Cisalhamento direcional dextral Três Corações, a Zona de Cisalhamento direcional dextral Abre Campo, o Lineamento Congonhas e o Lineamento Jeceaba – Bom Sucesso (Endo, 1997; Peres, *et al*, 2004).

Com esta classificação, procurou-se demonstrar a divisão de blocos por grandes estruturas do relevo magnético.

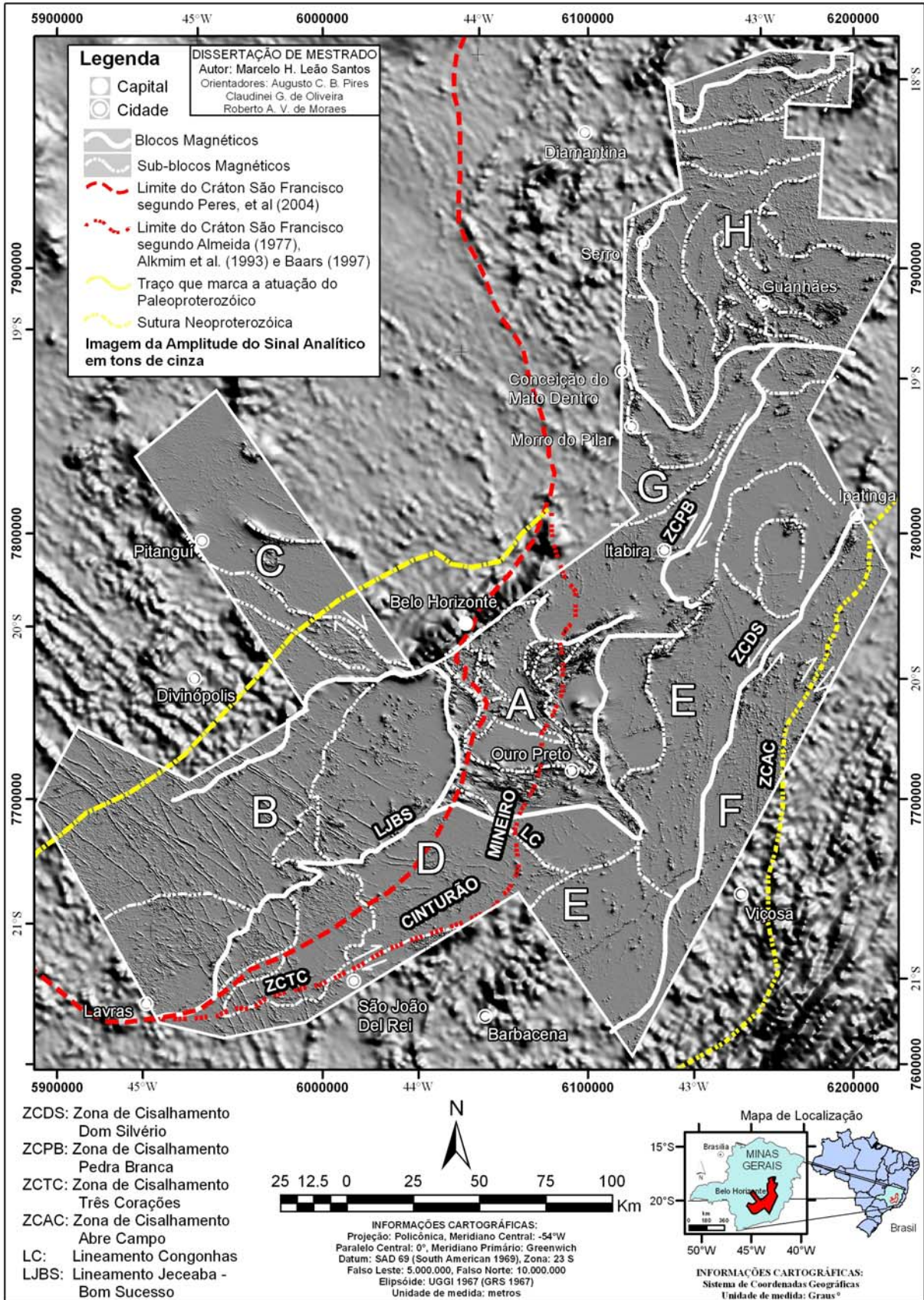


Figura 4.16 – Mapa do arcabouço magnético-estrutural interpretado dos produtos geofísicos e da integração com a geologia. A, B, C, D – Cinturão Mineiro; E, F, G, H – Faixa Araçuaí.



Na figura 4.17 podemos observar a comparação dos limites do Cráton São Francisco segundo Almeida (1977) - Alkmim *et al.* (1993) - Baars (1997) e segundo Peres *et al.* (2004); o traço que marca a atuação do paleoproterozóico e a sutura neoproterozóica, correlacionados com as descontinuidades geofísicas na imagem da amplitude do sinal analítico colorida.

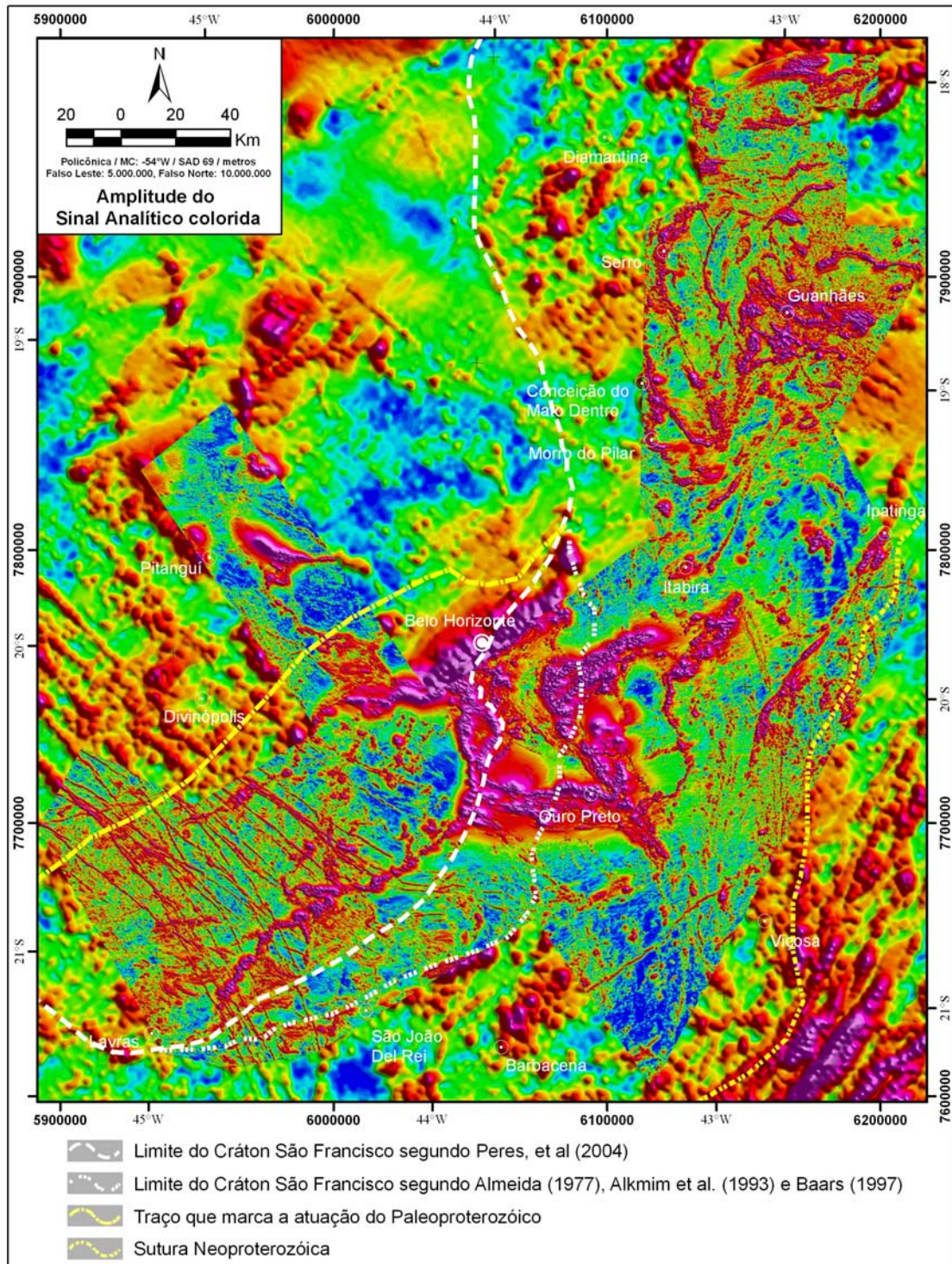


Figura 4.17 – Correlação do limite do Cráton São Francisco, do traço que marca a atuação do paleoproterozóico e da sutura neoproterozóica com a imagem da amplitude do sinal analítico colorida.



Na figura 4.18 temos uma interpretação dos diques magnéticos observados nas imagens geofísicas e a comparação com os diques da cartografia geológica conhecida. Este é um enxame de diques impressionante, tanto pela sua expressão espacial como pela regularidade de sua tendência NW-SE.

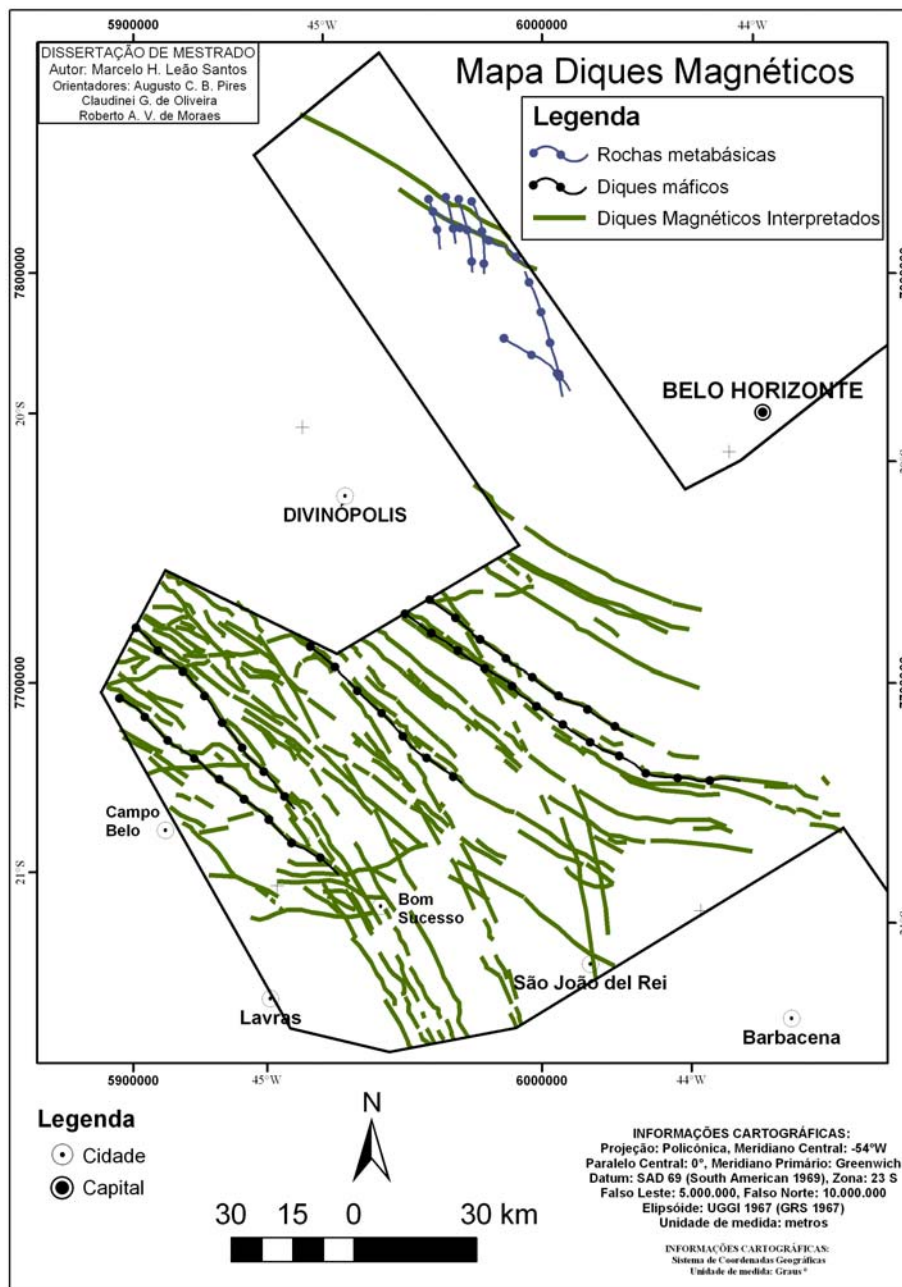


Figura 4.18 – Mapa de comparação dos diques da geologia cartográfica conhecida com os diques magnéticos.

A norte os diques são classificados como rochas metabásicas, representadas por metabasaltos neoproterozóicos (Schobbenhaus, *et al*, 2004).

A sul o mapa mostra o incremento na quantidade de 5 diques máficos para dezenas de diques existentes na geologia da área.

Diques foram mapeados ao norte de Lavras, na região entre Bom Sucesso e Campo Belo, com idade Sm/Nd de 2.650 Ma (Pinese, 1997).

Diques máficos foram datados por Silva *et al* (1995) pelo método U/Pb com idade 1,7 Ga na região de Ibirité próximo a Serra do Curral no noroeste do Quadrilátero Ferrífero.

Quando comparado com a interpretação do CGBA, vemos a continuidade dos diques de um levantamento para outro e sua imensa extensão quilométrica (Figura 4.19).

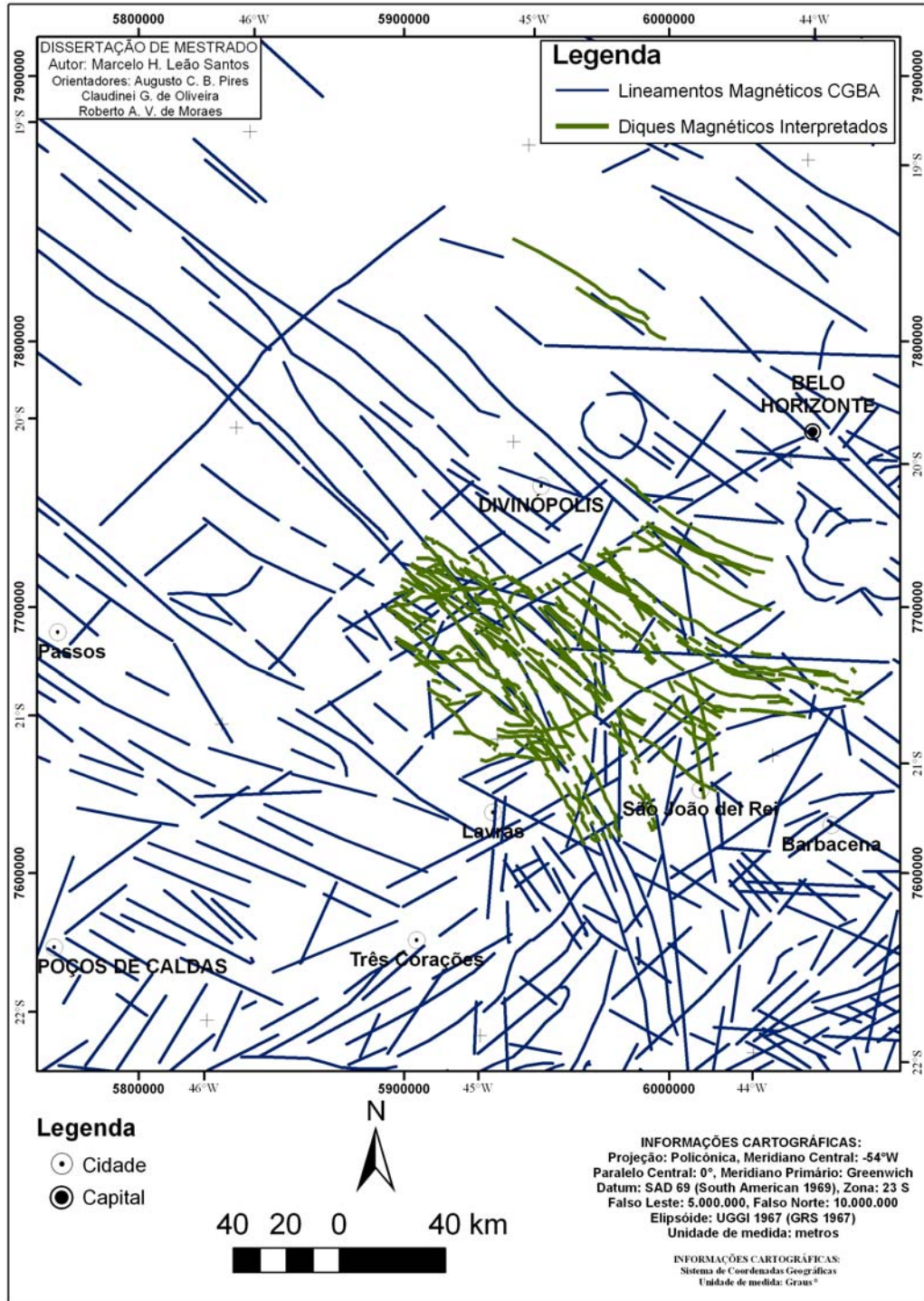


Figura 4.19 – Mapa de comparação dos diques magnéticos e dos lineamentos magnéticos interpretados do CGBA, com a continuidade destes de um levantamento para outro.



Foi realizada uma correlação com as estruturas que compõem o Quadrilátero Ferrífero e com as formações ferríferas bandadas. Os Itabiritos fazem parte da Formação Cauê, do Grupo Itabira, pertencentes ao Supergrupo Minas de idade paleoproterozóica (Figura 4.1).

As altas frequências do relevo magnético delineadas pelos itabiritos indicam o arcabouço estrutural do Quadrilátero Ferrífero (Figura 4.20).

A estruturação do Quadrilátero proposta por Dorr em 1969 foi correlacionada e mostra fidelidade com o relevo magnético (Figura 4.20).

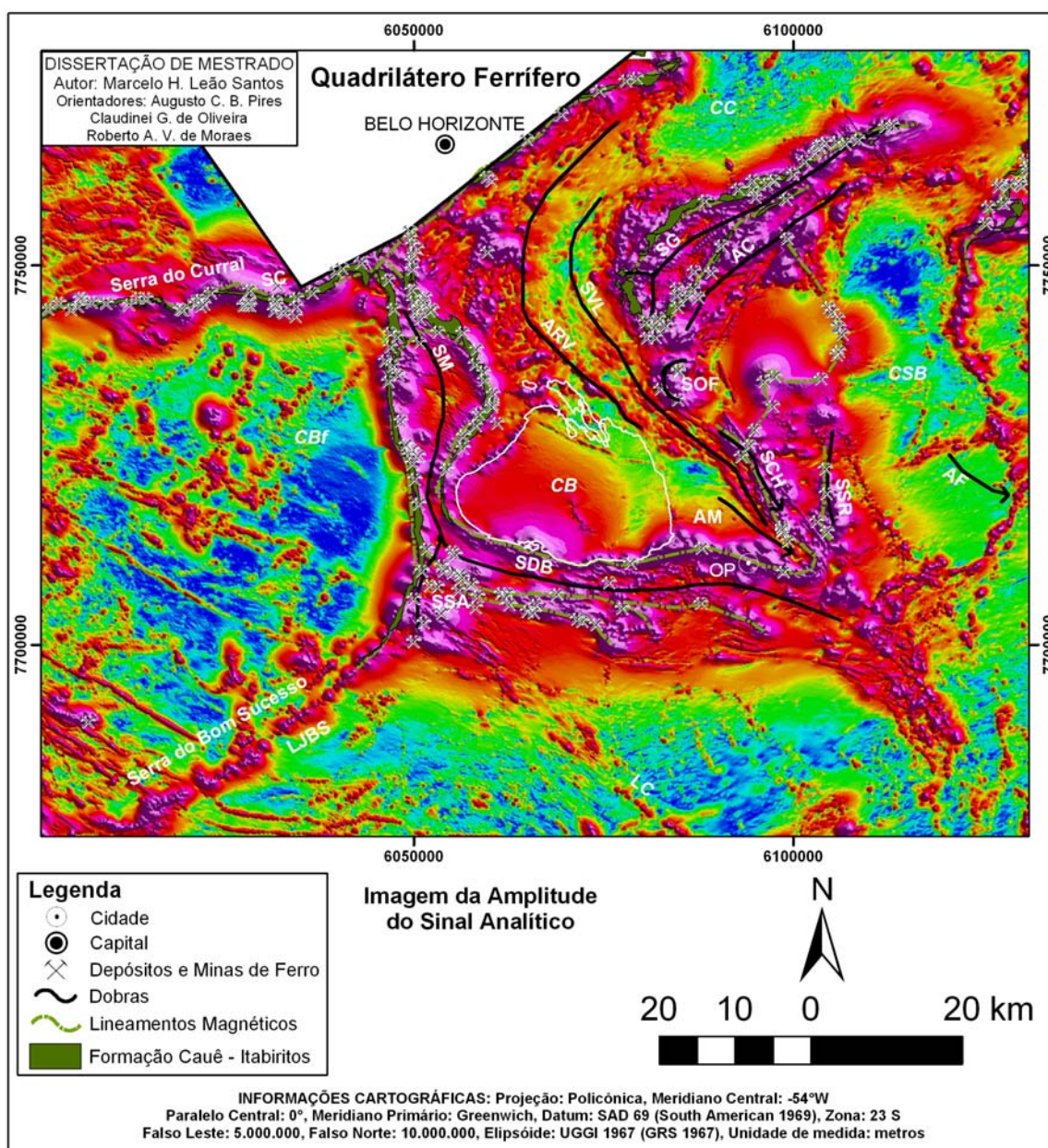


Figura 4.20 – Correlação das estruturas do Quadrilátero Ferrífero e dos Itabiritos com a imagem da amplitude do sinal analítico. OP – Ouro Preto; SC – Sinclinal Curral; SM – Sinclinal Moeda; SSA – Sinclinal Santo Antônio; SDB – Sinclinal Dom Bosco; AM – Anticlinal Mariana; SCH – Sinclinal Conta História; SSR – Sinclinal Santa Rita; AF – Anticlinal Furquim; SOF – Sinclinal Ouro Fino; AC – Anticlinal Conceição; SG – Sinclinal Gandarela; SVL – Sinclinal Vargem do Lima; ARV – Arqueamento Rio das Velhas; LJBS – Lineamento Jeceaba - Bom Sucesso; LC - Lineamento Congonhas; CB – Complexo Bação; CBf – Complexo Bonfim; CC – Complexo Caeté; CSB – Complexo Santa Bárbara (extraído de Dorr, 1969; Endo, 1997).

Na figura 4.20 temos a seqüência de estruturas e dobramentos do Quadrilátero Ferrífero: SC – Sinclinal Curral; SM – Sinclinal Moeda; SSA – Sinclinal Santo Antônio; SDB – Sinclinal Dom Bosco; AM – Anticlinal Mariana; SCH – Sinclinal Conta História; SSR – Sinclinal Santa Rita; AF – Anticlinal Furquim; SOF – Sinclinal Ouro Fino; AC – Anticlinal Conceição; SG – Sinclinal Gandarela; SVL – Sinclinal Vargem do Lima; ARV – Arqueamento Rio das Velhas. Todas são muito bem marcadas no relevo da amplitude do sinal analítico mostram a complexidade estrutural da área e que um detalhamento maior pode ser feito em comprimentos de onda menores existentes na imagem.

Os complexos metamórficos que estão em baixos do relevo magnético ao redor do Quadrilátero são: *CBf* – Complexo Bonfim; *CC* – Complexo Caeté e *CSB* – Complexo Santa Bárbara. Com exceção do *CB* – Complexo Bação, que se localiza no meio e têm influência dos sinais de alta frequência dos corpos em suas bordas. O *CB* está muito bem evidenciado na imagem da inclinação do sinal analítico (Figura 3.38).

As imagens geofísicas permitem uma correlação de semi-detulhe e até de detalhe como demonstrado acima.

Todos os depósitos e minas de ferro da região estão localizados nas cristas do relevo magnético e correspondem a Formação Cauê (Figura 4.1 e 4.20). Com a geofísica, o incremento na prospecção é enorme, principalmente para depósitos em subsuperfície que podem conter excelentes teores em corpos expressivos.

As imagens também proporcionam uma excelente definição da cinemática das estruturas em alguns locais. A noroeste do Quadrilátero Ferrífero podem ser observados sigmóides indicando movimento dextral da zona de cisalhamento, corroborada pelo mapa geológico regional (Schobbenhaus; *et al*, 2004) (Figura 4.21).

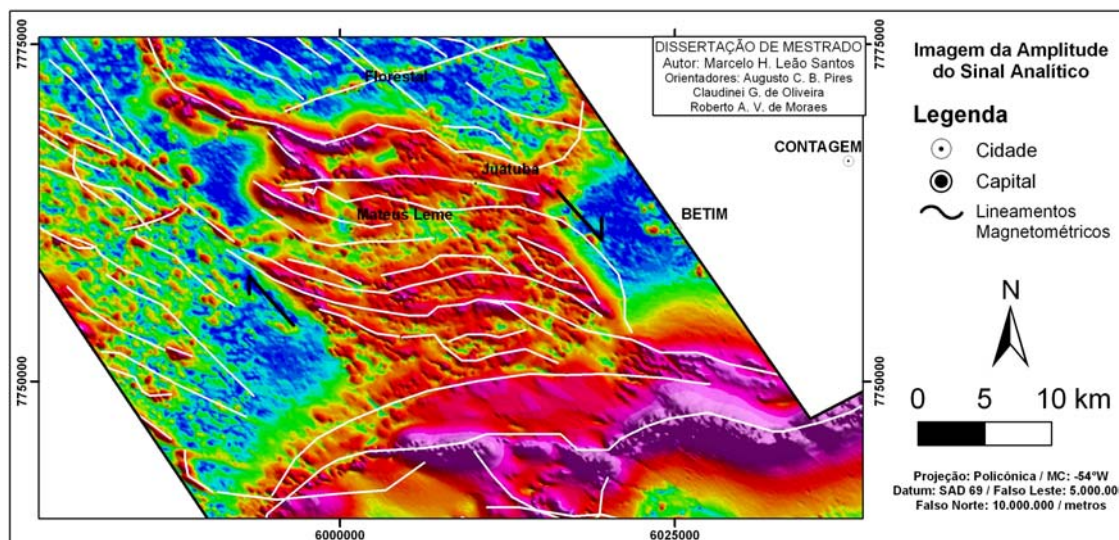


Figura 4.21 – Imagem da amplitude do sinal analítico indicando movimento dextral da zona de cisalhamento.



## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

*“Sabem o suficiente aqueles que sabem como aprender.”*

*Henry Brooks Adams*

*“Toda realidade está aí submetida à nossa possibilidade de intervenção nela.”*

*Paulo Freire*

*“É na experiência da vida que evolui o homem.”*

*Harvey Spencer*

Além dos resultados mostrados nos capítulos anteriores é possível descrever algumas considerações finais sobre o trabalho.

Primeiramente, as premissas e objetivos almejados no trabalho foram alcançados. A análise e o processamento executados nos dados foram capazes de gerar informações regionais e de detalhe acerca do arcabouço magnético-estrutural da região. O nivelamento e a integração dos aerolevantamentos realizados com tecnologias diferenciadas geraram produtos de alta qualidade. O nivelamento e integração se mostraram uma etapa bastante trabalhosa e técnica, devido à parametrização dos dados ser distinta. Este trabalho ressalta a importância das técnicas de nivelamento e processamento para a junção de aerolevantamentos, bem como a importância do planejamento da sobreposição e dos parâmetros entre estes levantamentos. A integração dos dados geofísicos e geológicos mostrou uma excelente correlação, e auxiliou na cartografia geológica e mapeamento de feições estruturais importantes na porção sul do Cráton São Francisco.

A seguir são enumeradas sugestões e conclusões específicas acerca de cada etapa do trabalho:

### **1 Caracterização da base de dados**

O conhecimento dos procedimentos, equipamentos e técnicas utilizadas nos levantamentos aerogeofísicos foram de fundamental importância para criar os métodos de processamento e para a interpretação dos dados. O domínio sobre como foram realizados os levantamentos identificou suas fragilidades e erros, que foram levados em consideração nas etapas posteriores. A diferença no período dos levantamentos, em relação às técnicas, métodos e tecnologias empregadas influenciam muito na qualidade e resultados obtidos.

### **2 Controle de Qualidade**

Os parâmetros do controle de qualidade são importantes para a geração da malha regular, na decisão do melhor método de interpolação e na interpretação dos dados.

Durante a etapa de controle de qualidade foram aplicadas técnicas de correções nas linhas de vôo e testes de consistência, que garantiram maior confiabilidade nos produtos gerados.

No geral, os dados dos levantamentos RV, IF e PLAMG foram considerados de boa qualidade. Isto devido ao fato dos dados serem recentes e aos levantamentos, que utilizaram tecnologias de medição atuais e posicionamento por satélite.

Os dados do CGBA têm algumas limitações: o espaçamento de dois quilômetros entre as linhas de vôo, a amostragem em perfis E-W, o levantamento por navegação visual, a altura de vôo diferente para cada bloco, e dados recuperados de informações analógicas antigas (digitalização de mapas de contorno).

Com isso sugere-se:

- Fazer a direção da amostragem em perfis N-S, aproximadamente paralelos à declinação local que é a direção de maior variação do campo magnético.
- Realizar vôos à altura constante e menor que 150 m, por permitir a medição da emissão natural da radiação gama.

Apesar disso o dado permite uma boa interpretação e correlação regional, entretanto, não são úteis para mapeamentos de escalas de semi-detalle e detalhe.

### **3 Interpolação**

A interpolação gera uma malha regular, com a vantagem dos valores estarem determinados em pontos localizados em nós de malha com distâncias iguais, necessários a aplicação dos diversos filtros no domínio de *Fourier* e de apresentação das imagens finais (filtros bidimensionais, contornos e processamento de imagens) (*Geosoft*, 1996).

Verificou-se que devem ser efetuadas diferentes técnicas de acordo com a forma de distribuição dos dados brutos e também ao tipo de dado que é interpolado. Podemos concluir, com as comparações e testes de eficácia, que o interpolador bi-direcional com ângulo de tendência foi o mais eficiente, pois foi desenvolvido para linhas de amostragem orientadas e para realçar feições geológicas nas direções especificadas.

Para minimizar as limitações do CGBA foi utilizado o método de curvatura mínima porque ele determina uma superfície que melhor define os valores amostrados.

### **4 Decorrugação**

A respeito da decorrugação foi verificado que é uma técnica bastante poderosa na geração de imagens com boa coerência espacial de dados geofísicos quaisquer.

A técnica de micronivelamento utilizada mostrou-se bastante eficaz, pois tornou a malha mais regular e eliminou tendências das linhas de vôo. Durante a aplicação dos filtros ocorreu pouca perda de anomalias, e a representação das feições geológicas não foi prejudicada.

### **5 Nivelamento e integração dos aerolevamentos geofísicos**

A integração final dos 59 blocos do CGBA se mostrou eficiente, com apenas algumas cicatrizes locais dos limites dos blocos. O melhor método para os dados do CGBA foi o Mistura (*Blend*).

Para a integração do RV, IF e PLAMG o método mais eficiente foi o Sutura (*Suture*), alguns problemas com a separação física entre os levantamentos, dificultou de sobre maneira a junção. As únicas cicatrizes que ficaram estão justamente nestes pontos. Com a remoção de superfícies de tendências, o nivelamento dos levantamentos se mostrou eficiente e fez uma sutura suave entre os dados.

A grande diferença entre a parametrização dos dados da integração dos levantamentos RV, IF e PLAMG; e o CGBA, impossibilitaram a junção destas malhas. Mas para o objetivo proposto de utilizar como plano de fundo, foi extremamente positivo para a interpretação das continuidades das feições regionais.

O conhecimento sobre os métodos e ferramentas utilizados nas costuras das malhas foi de fundamental importância para o resultado, principalmente com a utilização da remoção de tendência de primeira ordem (inclinação) e uso dos pontos da borda.

A sobreposição entre áreas contíguas deve ser realizada obrigatoriamente em novos levantamentos. Quando um novo levantamento for planejado deve ser previsto no contrato a sobreposição de algumas linhas de vôo entre as áreas. Outra sugestão seria fazer os limites dos aerolevamentos nas direções N-S e E-W. Estes procedimentos facilitam enormemente a construção de mosaicos, a integração de levantamentos, o nivelamento dos dados, e a análise dos parâmetros e diferenças de valores adquiridos.

O Governo de Minas Gerais está realizando a continuidade do PLAMG com as Áreas 7 e 8. A Área 7 localiza-se no sudoeste do Estado e recobre uma área de 69.127 km<sup>2</sup> com linhas de vôo N-S e espaçamento de 400 m. Esta área está à oeste da Área 2 desta dissertação. A Área 8 localiza-se no norte-nordeste do Estado e recobre uma superfície de 40.732 km<sup>2</sup> com linhas de vôo N25°W e espaçamento de 500 m. Esta área está a norte da Área 3. A altura de vôo em ambas às áreas será de 100 m.

A grande novidade é exatamente o que é proposto neste trabalho. A área total a ser

levantada deve incluir uma faixa de 500 m de largura no entorno das áreas com a finalidade de sobrepor os levantamentos contíguos.

Com isso, os métodos e técnicas usados nesta dissertação para suturas com novos levantamentos, são uma grande contribuição para trabalhos futuros.

## **6 Produtos transformados**

As transformações realizadas realçaram as anomalias, facilitaram a interpretação dos mapas geofísicos e a integração destes com a geologia regional.

O rigoroso acompanhamento do controle de qualidade e do processamento dos dados levou a uma maior confiabilidade nos produtos gerados, ao conhecimento da natureza dos dados e a criação de um método muito mais eficaz para a posterior interpretação geológica dos mapas geofísicos.

## **7 Imagens Magnetométricas e sua Aplicação na Definição do Arcabouço Magnético-Estrutural da Porção Sul do Cráton São Francisco**

Com a correlação simplificada regional do CGBA, ficou demonstrada a grande utilidade de levantamentos antigos. Com um processamento de qualidade, estes dados têm um enorme potencial para interpretação do arcabouço estrutural do Estado de Minas Gerais.

A interpretação dos lineamentos magnéticos mostra uma grande quantidade de estruturas e feições não existentes na cartografia geológica. E um incremento de 5 diques mapeados para dezenas do enxame existente.

As discontinuidades geofísicas demarcaram o arcabouço magnético-estrutural e definiram a divisão em blocos regionais. As principais contribuições estão relacionadas ao limite do Cráton São Francisco, ao Cinturão Mineiro e a Faixa Araçuai.

A correlação com os itabiritos, estruturas e mineralizações do Quadrilátero Ferrífero, mostram resultados concretos aplicados nas geociências.

Os resultados deste trabalho mostraram que os dados geofísicos são importantes instrumentos para produção de mapas base que podem gerar subsídios para o mapeamento geológico dos terrenos arqueanos e proterozóicos da região. Estes dados são de extrema importância para localizar os pontos de interesse do mapeamento, para definir os melhores perfis a serem mapeados e os locais de provável mineralização.

Os dados magnéticos, os mapas interpretativos da propriedade medida e a integração de todas as informações obtidas serviram para identificar estruturas, lineamentos e domínios de caráter local a regional que contribuem para o avanço do conhecimento da compartimentação tectônica e do arcabouço estrutural da região.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. *In: Mantesso-Neto V.; Bartorelli A.; Carneiro C. D. R.; Brito-Neves B. B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, p. 17-35.*
- ALKMIM F.F.; BRITO NEVES B.B.; ALVES J.A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco, uma revisão. *In: Domingez J.M.L., Misi A. (Eds.). O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG/SGM/CNPq, p. 45-62.*
- ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7:349-364.
- BAARS, F.J. 1997. *The São Francisco Cráton. In: De Wit M. J., Ashwall L. D. (Eds.). Greenstone Belts. Oxford: Clarendon Press, p. 529-557.*
- BARBOSA, A.L.M. 1968. Contribuições recentes à geologia do Quadrilátero Ferrífero. IGC-UFMG (1985), 44p.
- BLAKELY, R.J. 1996. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications. Cambridge University Press, 441p.*
- BLUM, M.L.B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral. Tese de Doutorado Nº 30, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 229p.*
- CARNEIRO, M.A. 1992. *O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e Evolução Geológica de um Segmento de Crosta Continental do Arqueano. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 233p.*
- CARNEIRO, M.A.; NOCE, C.M.; TEIXEIRA, W. 1995. Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e geoquímica isotópica Sm-Nd. *Revista da Escola de Minas*, **48** (4): 264-273.
- CARNEIRO, M.A.; TEIXEIRA, W.; NOCE, C.M.; FERNANDES, R.A. 1996. *Archaean Growth Processes in the Quadrilátero Ferrífero: A Geochronological U-Pb and Sm-Nd Approach to the Rio das Velhas Event (2780-2700 Ma). In: SYMPOSIUM ARCHAEOAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICAN PLATFORM. SBG, 1996. Anais... Brasília, p. 59-60.*

- CHEMALE Jr., F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais - Um modelo (*Tectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. A Model*). Pesquisas, **18**: 104-127.
- CHEMALE Jr., F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. 1994. *The Tectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Precambrian Research*, 65:25-54.
- CORDANI, U.G.; KAWASHITA K., MULLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V.; ROESER, H. 1980. Interpretação tectônica e petrológica de dados geocronológicos do embasamento no bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero/MG. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52: 785-799.
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; SIGA Jr., O. 1989. Geocronologia do Quadrilátero Ferrífero. In: XXI Semana de Estudos de Ouro Preto, SICEG, Ouro Preto, Bol. 21 :27-44.
- CPRM, 1972. Convênio Geofísica Brasil-Alemanha (CGBA), Relatório 070 - 155/1, pastas 1, 2, 3 e 4.
- DORR, J.V.N.II. 1969. *Physiographic, Stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. USGS/DNPM. *Professional Paper 641-A*. 110p.
- ENDO, I. 1997. *Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozóico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.
- ENDO, I.; CARNEIRO, M. A.; MACHADO, R. 1996. O Complexo Metamórfico Bação: Um Elemento Estrutural Anisotrópico na Deformação do Supergrupo Rio das Velhas -Q.F., M.G. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, 1996. Anais... Salvador, SBG. vol. 1, p. 411-413.
- ENDO, I. & CARNEIRO, M. A. 1996. O Regime Tectônico no Neoarqueano no Quadrilátero Ferrífero: um Modelo Transpressional. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, 1996. Anais..., Salvador, SBG V. 1, P. 414-416.
- ESRI, 2005. *ArcMap 9.1*. ESRI, Inc., USA.

- GEOMAG S.A. Prospecções Aerogeofísicas, 1996. "Projeto Gemas de Minas Gerais (Faixa Itabira Ferros) - Relatório Final de Levantamento e Processamento de Dados", Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Relatório Final, 6 vol., texto e anexos, Rio de Janeiro.
- GEOSOFT 1995. *GEOSOFT Mapping and processing system*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1996. *MAGMAP 2-D frequency domain processing*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1998. *OASIS Montaj 4.2*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 2006. *OASIS Montaj 6.3*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- HILDEBRANT, J.D.; JOHNSON, I. 1993. Projeto Rio das Velhas – O Emprego de um Multisistema Aerogeofísico para Prospecção de Ouro na Região do Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais, SBGf 1993, 439-444.
- KECKLER, D. 1994. *Surfer for Windows. User's guide. Contouring and 3D surface mapping*. Golden software, Inc. Golden, 234p.
- LASA Engenharia e Prospecções S.A., 2001. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 2 – Pitangui - São João Del Rei – Ipatinga: Texto Técnico; SEME/COMIG, 42p.
- LADEIRA, E.A. 1980. *Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine, and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. London. 272p. *PhD thesis, University of Western Ontario*.
- LADEIRA, E.A. & VIVEIROS, J.F.M. 1984. Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base em dados disponíveis. *Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Minas Gerais*, 4:1-14 (Boletim).
- LUYENDYK, A.P.J. 1997. *Processing of airborne magnetic data*. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 31-38p.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; BELO de OLIVEIRA, O.A. & LADEIRA, E.A. 1989. Evolução geológica do Quadrilátero Ferrífero Arqueano e Proterozóico Inferior, com base em geocronologia U/Pb. In: 5º SIMP. GEOL. NÚCLEO MG - 1º SIMP. GEOL. Núcleo Brasília, SBG - NÚCLEO MG, *Anais*. Belo Horizonte, BOL. nº 10: 1-5.

- MACHADO, N. & CARNEIRO, M.A. 1992. *U-Pb evidence of late Archaean tectono-thermal activity in the southern São Francisco shield, Brazil. Can. J. Earth Sci.*, **29**(11):2341- 2346.
- MACHADO, N.; NOCE, C. M.; LADEIRA, E. A.; BELO DE OLIVEIRA, O. 1992. U-Pb Geochronology of Archean Magmatism and Proterozoic Metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, Southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104:1221-1227.
- MARINI, O.J., 1993. Filosofia do Programa Distritos Mineiros do DNPM e Aerogeofísica Prospectiva: O Exemplo do Projeto Rio das Velhas. SBGf , 434-438.
- MARSHAK, S & ALKMIM, F.F. 1989. *Proterozoic extension/contraction tectonics of the São Francisco Craton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil: a kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilheira do Espinhaço. Tectonics*, **8** (3):555-571.
- MEGAFÍSICA S/A, 2001. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 3 Serro – Guanhães - Morro do Pilar: Texto Técnico; SEME – COMIG.
- MINTY, B.R.S. 1991. *Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data. Expl. Geoph.* 22:591-592.
- MONTEIRO, A.C., 2002, Convênio Geofísica Brasil Alemanha (Número na Base Aero: 1009) – Relatório das áreas digitalizadas pela PGW e WMC. Rio de Janeiro (RJ), CPRM, Divisão de Geofísica (DIGEOF).
- NOCE, C.M. 1995. *Geocronología dos Eventos Magmáticos, Sedimentares e Metamórficos na Região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 128p.
- NOCE, C.M.; CARNEIRO, M.A.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. 1996. Late Archean granitoids of the Quadrilátero Ferrífero region: U-Pb geochronology and implications on crustal evolution. *In: Symposium Archaean Terranes of the South American Platform. SBG, 1996. Anais*. Brasília, p. 60-61.
- PEDROSA – SOARES, A. C.; DARDENNE, M. A.; HASUI, Y.; CASTRO, F. D.C. 1994. Mapa Metalogenético de Minas Gerais, 1-1.000.000. Belo Horizonte, COMIG.



- PERES, G. G.; ALKMIM, F. F.; JORDT-EVANGELISTA, H. 2004. *The Southern Araçuaí Belt and the Dom Silvério Group: Geologic Architecture and Tectonic Significance. Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(4): 771-790.
- PINESE, J. P. P. 1997. *Geoquímica, Geologia Isotópica e Aspectos Petrológicos dos Diques Máficos Pré-Cambrianos da Região de Lavras (MG) Porção Sul do Cráton do São Francisco*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 178p.
- PINTO P. C. 1996. Introdução. Projeto Rio das Velhas. Mapa Geológico Integrado. Escala: 1:100.000. Texto Explicativo. Programa de Estudos Mineiros. Convênio DNPM/CPRM. DNPM-Secretaria de Minas e Energia-Ministério de Minas e Energia. Belo Horizonte, 1996, 1-10.
- PINTO, C. P. & SILVA, L. C. 1996. Contrasting Tectono-stratigraphic Domains in the Rio das Velhas *Greenstone Belt* (RVGB), MG, Brazil. In: SBG, *Symposium Archaean terranes of the South American Platform*. Brasília, 1996. *Extend abstracts*, 23-25.
- PRAKLA - SEIMOS GMBH, 1972. "Relatório sobre o Levantamento Aeromagnetométrico de Minas Gerais e Espírito Santo - Brasil", Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- PROSPEC S.A. - Prospecções e Aerolevantamentos, 1993. "Projeto Rio das Velhas - Levantamento Aeromagnetométrico, Gamaespectrométrico e Eletromagnético (Aquisição, Processamento e Interpretação de Dados)", Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, Consórcio de Empresas Mineradoras (DOCEGEO, RTDM, MMV, COMIG, MBR, SAMITRI, UNAMGEN e WMC), Relatório Final, texto e anexos, 18 vol., Rio de Janeiro.
- RIBEIRO-RODRIGUES, L. C. 1998. *Gold in Archaean Banded Iron-Formation of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil - The Cuiabá Mine. Ph.D. Thesis, Aachen University of Technology. Augustinus Verlag, Aachener Geowissenschaftliche Beiträge, Band 27, 264 p. (ISBN 3-86073-606-X)*.
- ROMANO, A.W. 1989. *Evolution tectonique de la région NW du Quadrilatère Ferrifère - Minas Gerais, Brési. lThèse Docteur, Université de Nancy I. Nancy, 259p.*

- ROMANO, A.W.; BERTRAND, J.M.; MICHARD, A.; ZIMMERMANN, J.L. 1991. *Tectonique tangentielle et décrochements d'âge Protérozoïque inférieur (orogénese transamazonienne, environ 2000 Ma) au Nord du Quadrilatère Ferrifère (Minas Gerais, Brésil)*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **313**: 1195-1200.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS D.A.; DERZE G.R.; ASMUS, H.E. 1984. Geologia do Brasil. Brasília, MME-DNPM, 501p.
- SCHOBENHAUS, C.; BELLIZZIA, A. (Coords.) 2000. *Geologic Map of South America*, 1:5.000.000. *Commission for the Geological Map of the World/Departamento Nacional de Produção Mineral/Geological Survey of Brazil/UNESCO*.
- SCHOBENHAUS, C.; *et al.* 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas SIG e 46 folhas na escala: 1-1.000.000. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 41 CD-ROMs. ISBN: 85-7499-099-4
- SCHORSCHER, H.D. 1978. Komatiitos na estrutura *greenstone belt* Série Rio das Velhas. Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: XXX Congr. Bras. Geol., *Anais*. Recife, Bol. Esp. 1:292-293.
- SILVA, A. M. 1999. *Integração de dados geológicos e geofísicos utilizando-se uma nova técnica estatística para seleção de alvos para exploração mineral, aplicada ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero*. Tese de Doutorado Nº 29, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 195p.
- SILVA, A. M.; KUYUMJIAN, R. M. & CHEMALE Jr., F. 1991a. *Mafic Dikes Swarms in the Southern São Francisco Craton, Southeastern Brazil*. In: Teixeira, W., Ernesto, M. and Oliveira, E.P. eds. *III Intern. Symposium on Mafic Dikes. Extend. Abstracts*, p.90- 93. São Paulo.
- SILVA, A. M.; KUYUMJIAN, R. M. & CHEMALE Jr., F. 1991b. Rochas Básicas do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional: Estudos Preliminares. REM - Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 45(1 e 2): 60-62.
- SILVA, A. M., KUYUMJIAN, R. M., CHEMALE Jr., F. 1992. Rochas Básicas do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional: Estudos Preliminares. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v.45, n.1 e 2, p. 60-62.

- SILVA, A. M.; CHEMALE Jr., F.; KUYUMJIAN, R. M.; HEAMAN, L. 1995. *Mafic Dike Swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil*. *Rev. Bras. Geoc.*, 25(2): 124-137.
- SILVA, L. C.; ZUCHETTI, M.; SILVA, S. L.; BALTAZAR, O. F.; MALOUF, R. F.; SILVA, J. N. 1995. Antofilita - Cordierita Xistos e Paragêneses Exóticas no *Greenstone Belt* Rio das Velhas, MG. *A Terra Em Revista*, BELO HORIZONTE, v. 0, p. 35-45.
- TEIXEIRA, W. 1985. *A Evolução Geotectônica da Porção Meridional do Cráton São Francisco, com Base em Interpretações Geocronológicas*. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 207p.
- TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; NUTMAN,P.; SATO,K. 1996a. *Polyphase crustal evolution in the Late Archaean: the case of the Campo Belo Metamorphic Complex, Minas Gerais, Brazil*. In: *Symposium Archaean Terranes of the South American Platform*. SBG, 1996. *Anais*. Brasília, p. 63-64.
- TEIXEIRA, W.; CARNEIRO, M.A.; NOCE, C.M.; MACHADO, N.; SATO, K.; TAYLOR, P.N. 1996b. *Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archean Evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil*. *Precambrian Res.*, 78:151-164.
- VASCONCELOS, R.M.; METELO, M.S.; MOTA, A.C.; GOMES, R.D. 1990. Geofísica em levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, DIGEOF-CPRM.
- ZUCCHETTI M., BALTAZAR O. F., RAPOSO F. O. 1996. Estratigrafia. Projeto Rio das Velhas. Mapa Geológico Integrado. Escala: 1:100000. Texto Explicativo. Programa de Estudos Mineiros. Convênio DNPM/CPRM. DNPM - Secretaria de Minas e Energia- Ministério de Minas e Energia. Belo Horizonte, 1996, 13-42.

## ANEXO I

### Localização do Convênio Geofísico Brasil-Alemanha (CGBA)

Neste anexo temos a localização e os vértices do polígono que delimita o CGBA em coordenadas planas (UTM em metros) e geográficas (CPRM, 1972) (Figura A1, Tabela A1).

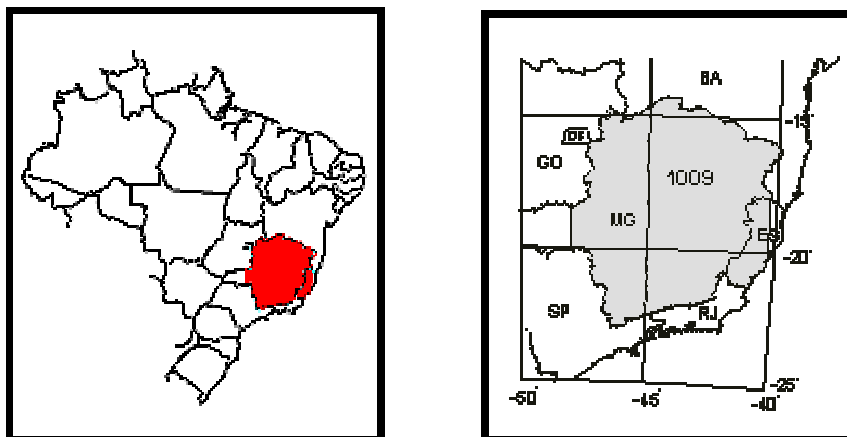


Figura A1 – Localização do CGBA que abrange quase todo o Estado de Minas Gerais e do Espírito Santo (Projeto 1009; CPRM, 1972).

Está delimitada por um polígono irregular, composto por 139 vértices (Tabela A1):

VÉRTICE	Coordenadas UTM			Coordenadas Geográficas	
	Leste (m)	Norte (m)	MC (°WGr)	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	183052	7960144	45	182530S	480000W
2	190205	7953798	45	182900S	475600W
3	259226	7998163	45	180530S	471630W
4	243830	8028420	45	174900S	472500W
5	258674	8043369	45	174100S	471630W
6	258475	8059975	45	173200S	471630W
7	243381	8063479	45	173000S	472500W
8	234600	8057829	45	173300S	473000W
9	230961	8065164	45	172900S	473200W
10	230717	8083617	45	171900S	473200W
11	272868	8119186	45	170000S	470800W
12	257312	8159605	45	163800S	471630W
13	237587	8172289	45	163100S	472730W
14	236573	8182427	45	162530S	472800W
15	250566	8204735	45	161330S	472000W
16	246884	8214841	45	160800S	472200W
17	252089	8227816	45	160100S	471900W



18	303699	8243089	45	155300S	465000W
19	290762	8290932	45	152700S	465700W
20	299611	8302077	45	152100S	465200W
21	290596	8309376	45	151700S	465700W
22	297519	8337104	45	150200S	465300W
23	322681	8328084	45	150700S	463900W
24	331586	8335526	45	150300S	463400W
25	329610	8361330	45	144900S	463500W
26	337621	8370605	45	144400S	463030W
27	352931	8361483	45	144900S	462200W
28	358383	8349531	45	145530S	461900W
29	379911	8346883	45	145700S	460700W
30	386150	8354288	45	145300S	460330W
31	394288	8338654	45	150130S	455900W
32	384545	8315561	45	151400S	460430W
33	403300	8325787	45	150830S	455400W
34	421209	8325546	45	150840S	454400W
35	441750	8347114	45	145700S	453230W
36	449816	8347132	45	145700S	452800W
37	540429	8408905	45	142330S	443730W
38	579100	8420795	45	141700S	441600W
39	631221	8416888	45	141900S	434700W
40	620255	8380069	45	143900S	435300W
41	665046	8366899	45	144600S	432800W
42	692065	8379610	45	143900S	431300W
43	726165	8377473	45	144000S	425400W
44	754586	8347673	45	145600S	423800W
45	809816	8317488	45	151200S	420700W
46	199027	8326831	39	150700S	414800W
47	247903	8283123	39	153100S	412100W
48	251762	8257334	39	154500S	411900W
49	270569	8252921	39	154730S	410830W
50	292785	8265126	39	154100S	405600W
51	366147	8247237	39	155100S	401500W
52	392999	8230786	39	160000S	400000W
53	393201	8189299	39	162230S	400000W
54	387005	8182814	39	162600S	400330W
55	376395	8170769	39	163230S	400930W
56	363974	8166084	39	163500S	401630W
57	364103	8145799	39	164600S	401630W
58	368568	8142138	39	164800S	401400W
59	364198	8131046	39	165400S	401630W
60	354433	8130980	39	165400S	402200W
61	342005	8130890	39	165400S	402900W
62	331552	8105908	39	170730S	403500W
63	333438	8092090	39	171500S	403400W
64	327390	8073594	39	172500S	403730W
65	342456	8071872	39	172600S	402900W

66	342556	8058961	39	173300S	402900W
67	350545	8055333	39	173500S	402430W
68	373675	8034282	39	174630S	401130W
69	375506	8024150	39	175200S	401030W
70	367621	8014877	39	175700S	401500W
71	369452	7758487	39	201600S	401500W
72	362466	7761200	39	201430S	401900W
73	358182	7752864	39	201900S	402130W
74	366013	7752926	39	201900S	401700W
75	354114	7719619	39	203700S	402400W
76	350632	7720512	39	203630S	402600W
77	330000	7699097	39	204800S	403800W
78	329123	7700011	39	204730S	403830W
79	319669	7691608	39	205200S	404400W
80	311144	7678595	39	205900S	404900W
81	295888	7650729	39	211400S	405800W
82	295092	7645182	39	211700S	405830W
83	282021	7652397	39	211300S	410600W
84	247378	7653747	39	211200S	412600W
85	217727	7666191	39	210500S	414300W
86	215458	7697546	39	204800S	414400W
87	199735	7702813	39	204500S	415300W
88	189690	7682313	39	205600S	415900W
89	793765	7678919	45	205800S	421030W
90	804069	7673193	45	210100S	420430W
91	793454	7661380	45	210730S	421030W
92	784934	7619976	45	213000S	421500W
93	774410	7610925	45	213500S	422100W
94	784640	7603360	45	213900S	421500W
95	784509	7595975	45	214300S	421500W
96	690030	7557692	45	220430S	430930W
97	694410	7564099	45	220100S	430700W
98	685762	7560512	45	220300S	431200W
99	684128	7567914	45	215900S	431300W
100	654769	7558079	45	220430S	433000W
101	625524	7557417	45	220500S	434700W
102	488000	7510869	45	223030S	450700W
103	458901	7495136	45	223900S	452400W
104	426336	7500549	45	223600S	454300W
105	419624	7473761	45	225030S	454700W
106	381194	7467050	45	225400S	460930W
107	381144	7473508	45	225030S	460930W
108	361517	7468728	45	225300S	462100W
109	363093	7483506	45	224500S	462000W
110	352806	7485255	45	224400S	462600W
111	349291	7494449	45	223900S	462800W
112	357838	7496376	45	223800S	462300W
113	356004	7509277	45	223100S	462400W

114	323153	7532929	45	221800S	464300W
115	333260	7551497	45	220800S	463700W
116	325451	7557871	45	220430S	464130W
117	333103	7566259	45	220000S	463700W
118	327740	7584657	45	215000S	464000W
119	343802	7616195	45	213300S	463030W
120	316816	7636212	45	212200S	464600W
121	292685	7630386	45	212500S	470000W
122	269444	7685453	45	205500S	471300W
123	276061	7709539	45	204200S	470900W
124	281270	7709607	45	204200S	470600W
125	277531	7729862	45	203100S	470800W
126	262585	7741659	45	202430S	471630W
127	262445	7751809	45	201900S	471630W
128	266685	7760174	45	201430S	471400W
129	260449	7770241	45	200900S	471730W
130	243768	7778310	45	200430S	472700W
131	241847	7790281	45	195800S	472800W
132	229688	7786406	45	200000S	473500W
133	227128	7782673	45	200200S	473630W
134	219278	7782549	45	200200S	474100W
135	215699	7788031	45	195900S	474300W
136	198278	7785893	45	200000S	475300W
137	196741	7773862	45	200630S	475400W
138	189765	7773740	45	200630S	475800W
139	186127	7781985	45	200200S	480000W

Tabela A1– Coordenadas planas (UTM em metros) e geográficas do polígono delimitador da área de estudo (CPRM, 1972).

## ANEXO II

### Tabela do processamento geofísico

Tabela utilizada para a sistematização do processamento dos dados. Como são gerados uma infinidade de arquivos; o uso das siglas, a organização e a sistemática do processamento, da interpretação e da integração dos dados foram de fundamental importância para o trabalho.

<b>SIGLA</b>	<b>NOME/DESCRIÇÃO</b>	<b>UNIDADE</b>
mag	<b>MAGNETOMETRIA</b>	
CA	CAMPO MAGNÉTICO ANÔMALO (OU RESIDUAL)	NanoTesla–nT
ASA	AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO)	nT/metro-m
ISA	INCLINAÇÃO DO SINAL ANALÍTICO DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO)	radiano–rd
DZ	DERIVADA VERTICAL DO CAMPO MAGNÉTICO (PRIMEIRA ORDEM)	nT/m
GHT	GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL DO CAMPO MAGNÉTICO (ORDEM ZERO)	nT/m
euler 0	DECONVOLUÇÃO DE EULER (ÍNDICE ESTRUTURAL 0)	
euler 1	DECONVOLUÇÃO DE EULER (ÍNDICE ESTRUTURAL 1)	
euler 2	DECONVOLUÇÃO DE EULER (ÍNDICE ESTRUTURAL 2)	
euler 3	DECONVOLUÇÃO DE EULER (ÍNDICE ESTRUTURAL 3)	
ASA + ISA	Composição da Amplitude do Sinal Analítico sobre a Inclinação do Sinal Analítico (amplitude com relevo da inclinação de fundo)	
lin_mag	Lineamentos magnéticos	
dom_mag	Domínios magnéticos	
	MAPA DE INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA	
	<b>PROCESSAMENTO</b>	
ang	ângulo	
inc	inclinação	
dec	declinação	
grd	grid	
dx	derivada em x	
dy	derivada em y	
dz	derivada vertical em z	
pb	filtro passa baixa	
pa	filtro passa alta	
pbn	filtro passa banda	
nlf	filtro não linear	
cm	curvatura mínima	
cm500	curvatura mínima com célula de interpolação de 500 metros	
bk	blanking distance	
maxi	maximum iterations	
it	internal tension	



bd	bi-direcional	
kg	krigagem	
lin	linear	
cub	cubic	
aki	akima	
nea	nearest	
gknit	grid knit	
multiple_grd	grid knit de múltiplos grids	
sut	suture	
bl	blend	
ap	all points	
ep	edge points	
op	overlap points	
oep	overlapping edge points	
width	Largura, extensão	
s	sombreado	
c	colorido - colour.tbl	
pc	colorido - pseudocolor.lut	
g	cinza (grey)	
r	re_grid a grid	
r500	re_grid a grid com célula de 500 metros	
han_1	filtro de hanning e o n° de vezes que passou o filtro	
micro56_72	micronivelamento e o n° de vezes que passou o filtro passa alta e o n° de vezes que passou o filtro passa baixa	
leg	legenda	
rot	rotacionado	
mask	máscara	
%	tolerância	
comp	composição	
w10	janela de tamanho 10 (window size)	
ext	numbers of cells to extend past edge	
gap	maximum interpolated gap	
exp10%	expand grid com % mínima para expandir grid	
cext	cells to extend beyond data (Grid>Gridding...)	
upcont	continuação ascendente	
dwcont	continuação descendente	
magmap	magmap	
int	interactive (Gridknit>two grids> Suture path)	
gdb	save grid to database	
2nd	2nd order trend	
3nd	3nd order trend	
	<b><u>CARTOGRAFIA</u></b>	
poli	coordenadas policônicas	
ll	coordenadas geográficas	
utm	coordenadas UTM	
mc	meridiano central	
line	linha	
poly	polígono	

	<b><u>LEVANTAMENTOS</u></b>	
cgba	Convênio Geofísico Brasil Alemanha	
plamg	Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais	
rv	Projeto Rio das Velhas	
if	Projeto Gemas de Minas Gerais – Faixa Itabira Ferros	
a2w	Área 2 - Bloco Oeste -PLAMG	
a2e	Área 2 - Bloco Leste - PLAMG	
a3	Área 3 - PLAMG	

Tabela A2 - Tabela do processamento geofísico.

## ***ANEXO III***

Trabalhos apresentados

## Aplicação de dados aerogeofísicos no mapeamento geológico das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Itaguaru-Itapuranga, Goiás

Marcelo Henrique Leão Santos (\*), Rodrigo Malheiros Pontes (\*), Marcelo de L. Bassay Blum, Roberto A. Vitória de Moraes, J. Oswaldo de Araújo Filho, Claudinei G. de Oliveira, Elton Luiz Dantas, Paulo R. Menezes, Sílvia R. Medeiros, Fausto de A. Lazarin, Alan Armele UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, Brasil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The application of aerogeophysical data as a tool to geological mapping has shown good correlation efficiency, and with the advance of technology, the products generated during the processing of these data, even more correlated to the geological compartmentation.

This paper presents the utilization of aerogeophysical data in mapping archaean and proterozoic terrains in the state of Goiás. The data were processed using the software Geosoft, and the products generated were analyzed before the field phase. Several magnetic lineaments, magnetic domains and gamma-ray spectrometric domains were observed and then correlated to geological structures and bodies observed in field. The result of such correlation was a very consistent geological map, with a large number of structures and geological units observed on the geophysical images and then confirmed with mapping.

### Introdução

Os projetos geofísicos regionais são de grande importância como ferramenta para mapeamentos geológicos (Blum, 1999). Na década de 70, o Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC) cobriu uma área de 780 mil quilômetros quadrados na região central do Brasil e realizou levantamentos aéreos magnetométricos e gamaespectrométricos, além de levantamentos de geofísica e geoquímica terrestres.

O objetivo desta publicação é mostrar que os dados geofísicos foram importantes instrumentos para o mapeamento geológico dos terrenos arqueanos e proterozóicos da região de Itaguaru-Itapuranga (Figura 12). Foram utilizados dados magnéticos para identificar estruturas geológicas de caráter regional (contribuindo para o avanço do conhecimento tectônico da região), dados gamaespectrométricos para o mapeamento dos corpos litológicos e finalmente a integração de todas as informações obtidas produzindo mapas interpretativos das propriedades medidas.

### Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC)

O Projeto Geofísico Brasil - Canadá (PGBC) foi executado em parceria entre o Ministério das Minas e Energia do Brasil (MME) e a Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (*Canadian International Development Agency - CIDA*) (Carmo, 1978).

O aerolevanteamento cobriu a área situada entre as latitudes 5° e 16° Sul e os meridianos 48° e 51° Oeste e utilizou os métodos geofísicos aéreos de magnetometria e gamaespectrometria.

As plataformas de vôo foram aeronaves DC-3 voando a uma altura constante de 150 m, com tolerância de  $\pm 10$  % para topografia suave e de  $\pm 50$  % para acidentada. Foi utilizado um radar altímetro com leituras realizadas a cada segundo para controle da altura. A velocidade aproximada foi de 220 km/h. O sistema de navegação foi auxiliado com radar *Doppler* e recuperação desta trajetória a partir de registro fotográfico (DNPM, 1981).

O aerolevanteamento foi realizado em duas fases. A primeira, com linhas de produção espaçadas em 2 km de direção N-S e linhas de controle espaçadas em 14 km de direção E-W. A segunda cobriu áreas de interesse com linhas N-S e espaçamento de 1 km, completando entre as linhas da fase 1.

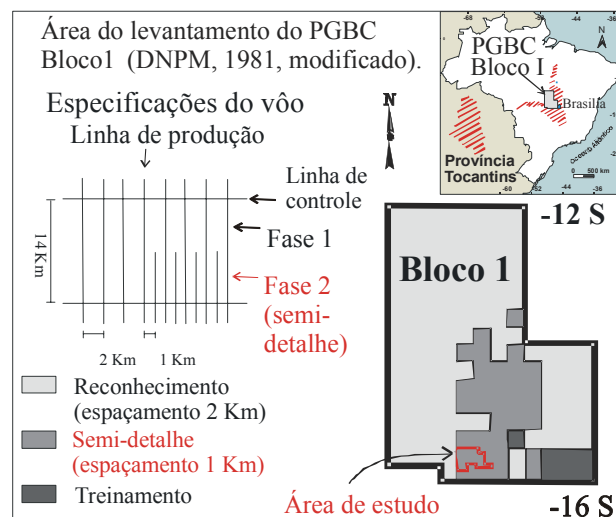


Figura 1 – Área do levantamento do Programa Geofísico Brasil-Canadá – Bloco 1 (DNPM, 1981, modificado).

Foram utilizados magnetômetros tipo janela de fluxo (*fluxgate*), com amostragem a cada segundo ( $\sim 70$ m). A amostragem do espectro de radiação gama foi feita em quatro janelas (contagem total, Potássio - K, Tório -Th e Urânio -U) por um espectrômetro diferencial de 256 polegadas cúbicas.

### Processamento dos dados aerogeofísicos

O processamento dos dados aerogeofísicos, objeto deste trabalho, foi realizado no Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O processamento foi executado em meio digital com a utilização do programa *OASIS Montaj Inc. GEOSOFT* (GEOSOFT 1996, 1998). Os procedimentos para o processamento dos dados estão organizados nos fluxogramas das figuras 2 e 3.



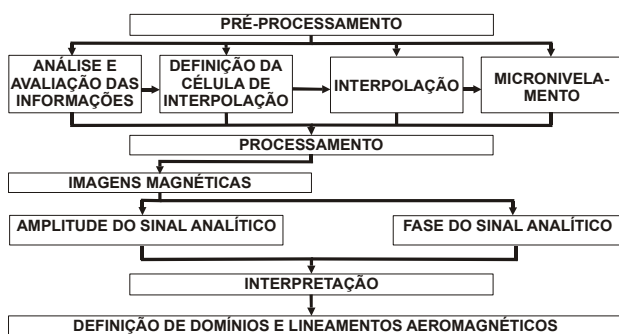


Figura 2 – Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aeromagnetométricos.

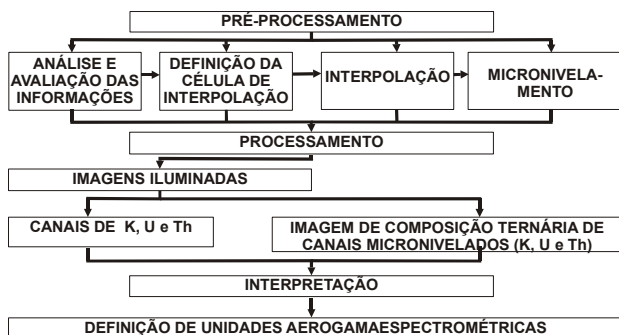


Figura 3 – Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aerogamaespectrométricos.

Os dados foram analisados e avaliados para verificar a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” ou picos, e o posicionamento das linhas de voo. Como na época do levantamento o sistema de posicionamento era ruim, algumas linhas de voo tiveram eventuais desvios, mas o padrão geral das mesmas não apresentou maiores problemas.

A interpolação dos dados em malha regular foi realizada por meio dos métodos curvatura mínima e bidirecional (*bigrid*). Para a preservação das altas frequências foi utilizado o método bidirecional.

O micronivelamento (Minty, 1991) foi empregado para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Para tanto utilizou-se a técnica de micronivelamento (Minty, 1991) com o algoritmo *Microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

Os produtos finais usados foram os seguintes mapas: Amplitude do Sinal Analítico (Figura 4), Fase do Sinal Analítico (Figura 5), Canal de Potássio (Figura 6), Canal de Tório (Figura 7), Canal de Urânio (Figura 8) e Composição Ternária RGB – K:Th:U (Figura 9).

Os produtos foram gerados por Blum (1999) e convertidos da plataforma *Oasis Montaj GEOSOFT* em malhas com extensão (.*grd*), onde foram novamente exportados para o formato *geotiff* com resolução espacial de 30 metros. Estas foram organizadas em um Sistema de Banco de Dados Georreferenciados, e interpretadas com auxílio do *software ArcView 3.2*.

### Interpretação dos dados aerogeofísicos

As imagens geofísicas foram usadas no mapeamento geológico, correlacionando as informações geológicas com os domínios geofísicos para se definir limites e relações com a compartimentação estrutural.

A partir dos dados aerogeofísicos foram produzidos três importantes produtos: mapa de lineamentos magnetométricos (Figura 10), mapa de domínios magnetométricos (Figura 10) e mapa de domínios gamaespectrométricos (Figura 11).

Os lineamentos magnéticos foram interpretados com base no mapa de amplitude do sinal analítico e da fase do sinal analítico. As estruturas foram visualizadas em forma de lineações e extraídas dos produtos magnetométricos. O mapa de amplitude do sinal analítico foi produzido em cor azul, azul claro, verde, amarelo, laranja, vermelho e rosa, que demonstram, em ordem crescente, a intensidade do magnetismo juntamente com o relevo (rugosidade) apresentado. O alinhamento de cristas do relevo com alta amplitude e os alinhamentos em baixos magnéticos formam os principais lineamentos.

Os domínios magnéticos foram interpretados a partir dos mapas de amplitude do sinal analítico e fase do sinal analítico delimitando-se três domínios de respostas magnéticas distintas (alta, média e baixa). A textura da imagem da fase do sinal analítico foi utilizada para delimitar os domínios magnéticos.

Os domínios gamaespectrométricos delimitam campos de respostas radiométricas similares. Tendo como fonte radioativa três radioelementos (K, Th e U), foram especificados três graus de intensidade de radiação para cada um (baixa, média e alta), chegando a uma classificação de quinze domínios distintos, os quais foram diferenciados por diferentes siglas. Para determinação destes domínios foram utilizados mapas dos canais de potássio, tório, urânio e composição ternária R G B / K:Th:U. Para se observar a mobilidade por lixiviação dos elementos foram integradas as imagens geofísicas sobre o Modelo Digital de Terreno (MDT) no Sistema de Informações Georreferenciadas. Domínios muito complexos foram ignorados de acordo com a escala do mapeamento geológico (1:50 000), sendo mostrados como um único domínio.

### Interpretações das imagens magnetométricas

A figura 4 corresponde à imagem da amplitude do sinal analítico e a figura 5 à fase do sinal analítico, ambas produto do campo magnético anômalo.

Na imagem da amplitude do sinal analítico o contato por empurrão no norte da área está caracterizado por um alinhamento de altos magnéticos com direção nordeste-sudoeste (Figura 10 – Lin.A), e é também observado na imagem da fase do sinal analítico estando bem marcado por um alinhamento na cor branca. Este contato é por falha de empurrão colocando a Sequência Serra Dourada sobre a Suíte Itapuranga.

Os lineamentos magnéticos de direção noroeste-sudeste estão bem nítidos em baixos magnéticos na imagem da amplitude do sinal analítico e aparecem apenas na porção mais leste da imagem da fase do sinal analítico. Eles indicam as falhas transcorrentes do Rio Uru (Figura 10 – Lin.B) e do Ribeirão das Lajes ligadas a tectônica transpressiva de vergência para noroeste. Na falha do Ribeirão das Lajes o movimento aparente pode ser inferido como dextral pelo deslocamento de dois lineamentos menores NNE-SSW no limite entre as áreas III e IV (Figura 10 – Lin.C).

Os lineamentos magnéticos ENE-WSW também são observados em linhas de baixa amplitude e por alinhamentos na fase do sinal analítico. Estão relacionados à tendência nordeste da Serra Dourada, tanto na porção norte quanto sudoeste da área. Um grande lineamento de mesma direção aparece na porção branca da imagem da fase do sinal analítico e como metade em baixo magnético e metade em alto magnético na imagem da amplitude do sinal analítico. Este lineamento tem uma parte curvilínea e aparece a sudeste das áreas (Figura 10 – Lin.D). Alguns menores estão inseridos na Seqüência Serra Dourada com direção mais norte-nordeste (Figura 10 – Lin.E).

Poucos lineamentos foram extraídos com direção leste-oeste, sendo relativos às zonas de cisalhamento associadas às de direção NW-SE (Figura 10 – Lin.F). Estes marcam o contato do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu com a Suíte Itapuranga no sul das áreas III, IV e V.

Os diques magnéticos arqueanos (direção nordeste-sudoeste) mapeados na área VI não tiveram resposta marcada na magnetometria, provavelmente por algum problema ligado a regionalidade do levantamento.

A direção norte-sul não foi extraída por ser coincidente com a direção das linhas de vôo, podendo, desta forma, induzir a interpretações irreais.

O maior domínio magnético ocupa toda porção centro-sudeste da área e é proveniente dos granulitos do Complexo Anápolis-Itaçu (Figura 10 - A). A amplitude do sinal analítico extremamente alta por todo este domínio está ligada à formação de magnetita favorecida pelas rochas paraderivadas portadoras de ferro, além do volume significativo de granulitos máficos ortoderivados, ricos em magnetita, contribuindo, assim, para uma alta susceptibilidade magnética. No sul da área IV foi observada magnetita pulverulenta sobre o latossolo do complexo.

Domínios de baixo magnetismo dentro do complexo estão relacionados com um intenso metamorfismo que fundiu parcialmente as rochas e diminuiu muito a sua magnetização, devido a recombinação de óxidos de ferro e titânio em cristais de ilmenita (Figura 10 - B).

A presença de um domínio de alta susceptibilidade magnética ao norte da área é relacionado com o contato tectônico por falha de empurrão entre a Seqüência Serra Dourada e a Suíte Itapuranga (Figura 10 - C).

O alto magnético no extremo sul das áreas, especificamente nas áreas VI e VII, está ligado aos níveis de formações ferríferas bandadas em xistos pelíticos da Suíte Anicuns-Itaberaí (Figura 10 - D).

Quartzo clorita xistos com magnetita, descritos na Seqüência Serra Dourada, estão gerando anomalias magnéticas altas a médias, localizadas no norte da área IV e sul das áreas II e III (Figura 10 - E). A formação de magnetita nessas rochas metassedimentares depende de fatores herdados dos protolitos, principalmente do estado de oxidação do ferro e quantidade presente.

Foi observado um domínio magnético de média intensidade nos terrenos arqueanos TTG (trondhjemito-tonalito-granodiorito) que não está localizado onde foi

mapeado um dique com magnetita, mas pode estar associado a ele em profundidade (Figura 10 - F).

A Seqüência Serra Dourada, a Suíte Itapuranga e os TTG's estão com predomínio em domínios de baixa a muito baixa amplitude, indicando seu caráter de baixa susceptibilidade magnética (Figura 10 - G).

### Interpretação das imagens gamaespectrométricas

A imagem do canal de potássio (Figura 6) apresenta valores altos em quase toda a área. Na Seqüência Serra Dourada, baixos valores são descritos na baixada a sul da serra, resultante da intensa lixiviação do solo próximo ao Rio Uru (Figura 11 - domínio M), e no noroeste da área IV, nas rochas básicas intrusivas (Figura 11 - domínio P na área IV). Os valores de intensidade alta na serra são decorrentes da riqueza de potássio nos minerais micáceos presentes nestas rochas pelíticas.

A Suíte Itapuranga tem valores altos principalmente em suas fácies mais alcalinas, noroeste da Serra Dourada, adjacências da cidade de Uruíta e região central da área V (Figura 11 - domínio B). As fácies com tendência granítica possuem baixos valores de potássio.

Os granulitos félsicos das áreas VIII, IX e X tem valores muito altos e o restante mostra baixos valores devido às baixas proporções de potássio nestas rochas. Os TTG's têm valores altos nas regiões proximais a Serra Dourada talvez por concentração por lixiviação (Figura 11 - domínio H na área VI). A Suíte Anicuns-Itaberaí mostra baixos valores nos gnaisses félsicos e valores mais altos nos xistos pelíticos (moscovita clorita xistos).

A imagem do canal de tório (Figura 6) delimita muito bem em seus valores baixos a Seqüência Serra Dourada (Figura 11 - domínio D) e com valores mais baixos ainda os granulitos félsicos das áreas VIII, IX e X (Figura 11 - domínio E), devido à ínfima quantidade deste elemento nos silimanita granada quartzitos desta unidade.

Os valores intermediários observados nos granulitos félsicos estão relacionados aos granada álcali-feldspato granulitos. No terreno arqueano TTG, valores intermediários são associados a um contraste resultante da maior afinidade do tório com granodioritos do que com rochas metassedimentares e metaígneas.

Os valores extremos estão nas rochas meta-sienograníticas e meta-graníticas da Suíte Itapuranga. Uma forte anomalia arredondada foi observada na área VIII, que pode estar relacionada a uma intrusão não aflorante da Suíte Itapuranga (Figura 11 - domínio G na área VIII).

A imagem do canal urânio (Figura 8) tem baixos valores em todo o Complexo Anápolis-Itaçu. Os valores médio a alto estão localizados no interior da Seqüência Serra Dourada, ressaltando a presença de baixos valores no noroeste da área IV devido a presença de rochas básicas (Figura 11 - domínio P na área IV). O terreno TTG tem valores médios em toda sua extensão. Os valores mais altos são observados nas fácies mais sienograníticas da Suíte Itapuranga ricas em urânio a norte da Serra Dourada.

Finalmente na imagem ternária RGB, composta pelos canais K, Th e U (Figura 9), os corpos ficaram muito bem delimitados e de forma geral os domínios

gamaespectrométricos estão semelhantes aos limites litológicos.

Os quinze domínios interpretados estão descritos na tabela abaixo:

D	Classificação	D	Classificação
A	alto K, alto Th, alto U	I	médio K, médio Th, baixo U
B	alto K, alto Th, médio U	J	médio K, baixo Th, baixo U
C	alto K, médio Th, alto U	L	baixo K, alto Th, médio U
D	alto K, baixo Th, médio U	M	baixo K, médio Th, médio U
E	alto K, baixo Th, baixo U	N	baixo K, médio Th, baixo U
F	médio K, alto Th, alto U	O	baixo K, baixo Th, médio U
G	médio K, alto Th, baixo U	P	baixo K, baixo Th, baixo U
H	médio K, médio Th, médio U		

Tabela 1 – Tabela das classificações das intensidades em alto, médio e baixo para cada elemento. D = domínios.

A Seqüência Serra Dourada está bem marcada pelos valores altos de potássio dos cristais de mica nos xistos (Figura 11 - domínio D), ocorrendo lixiviação do potássio sobre os terrenos arqueanos TTG (Figura 11 - domínio H na área IV). Onde o solo encontra-se espesso a sul da serra nas áreas III, IV e V (Figura 11 - domínio M), o potássio já foi quase todo lixiviado restando uma boa quantidade de urânio oriundo da serra. Na Serra Dourada existem muitos domínios menores com altos valores de urânio que não foram individualizados, pois se encontram nos vales, e são resultado da concentração deste elemento devido sua grande mobilidade. O domínio P no noroeste da área IV tem assinatura com ausência dos três elementos relacionado à intrusão de rochas básicas na serra. Estas intrusões foram interpretadas como posteriores à formação da seqüência que foram metamorizadas juntas durante o Ciclo Brasileiro.

A Suíte Itapuranga tem a assinatura clássica de rochas graníticas com valores altos nos três elementos, principalmente a norte da Serra Dourada (Figura 11 - domínios A). A sul das áreas III, IV e centro da V, o domínio L é rico em tório.

### Conclusões

A utilização de dados de geofísica aérea no mapeamento geológico mostrou-se uma ferramenta de grande eficiência, permitindo a separação de unidades distintas em etapas anteriores ao mapeamento. Estas unidades apresentaram uma correlação bastante satisfatória com a compartimentação geológica observada em campo, auxiliando, inclusive, a distinção

de unidades não evidentes em fotos aéreas ou em imagens de satélite.

### Referências

Araújo Filho, J. O. (coord.), Oliveira, G. C., Dantas, E. L., Menezes, P. R., Medeiros, S. R., Armele, A., Arce, A., Seidel, A. M., Masayoshi, C., Russo, D., Campos, E. T., Mendonça, F. C., Lazarin, F. A., Chaves, F. B., Porto, F. S. M., Trindade, J. S., Santos, L. M., Andrade, L., Silva, M. F., Santos, M. H. L., Oliveira, M. L., Ricciardi, O. P., Laet, M. R., Pontes, R. M., Melo, S. S. V., Roriz, S. A., 2002, Mapeamento Geológico do Projeto Itaguaru-Itapuranga, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Inédito.

Blum, M. L. B., 1999, Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado N° 30, 229p.

Blum, M. L. B., Silva, A. M., Jost, H., Menezes, P. R., Fuck, R. A., Brod, J. A., Teixeira, A. A., Silva, A. A. C., Spigolon, A. L. D., Maas, M. V. R. Souza, M. M., Macedo Júnior, P., Lima, B. E. M., Campos, M. O., 2001, Aplicação de Dados Aerogeofísicos no Mapeamento Geológico do Limite entre os Terrenos Arqueanos e Proterozóicos da Região de Crixás Cedrolina, Goiás: Revista Brasileira de Geociências, 31(3), p279-286.

Carmo, S.D., 1978, Programação e execução do Projeto Geofísico Brasil-Canadá. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, SBG, v.5, p2233-2247.

DNPM, 1981, Projeto Geofísico Brasil-Canadá: histórico e atividades até 30/09/77: Brasil (Goiânia), MME/DNPM.

GEOSOFT, 1996, *MAGMAP 2-D frequency domain processing*: Canadá (Toronto), GEOSOFT, Inc.

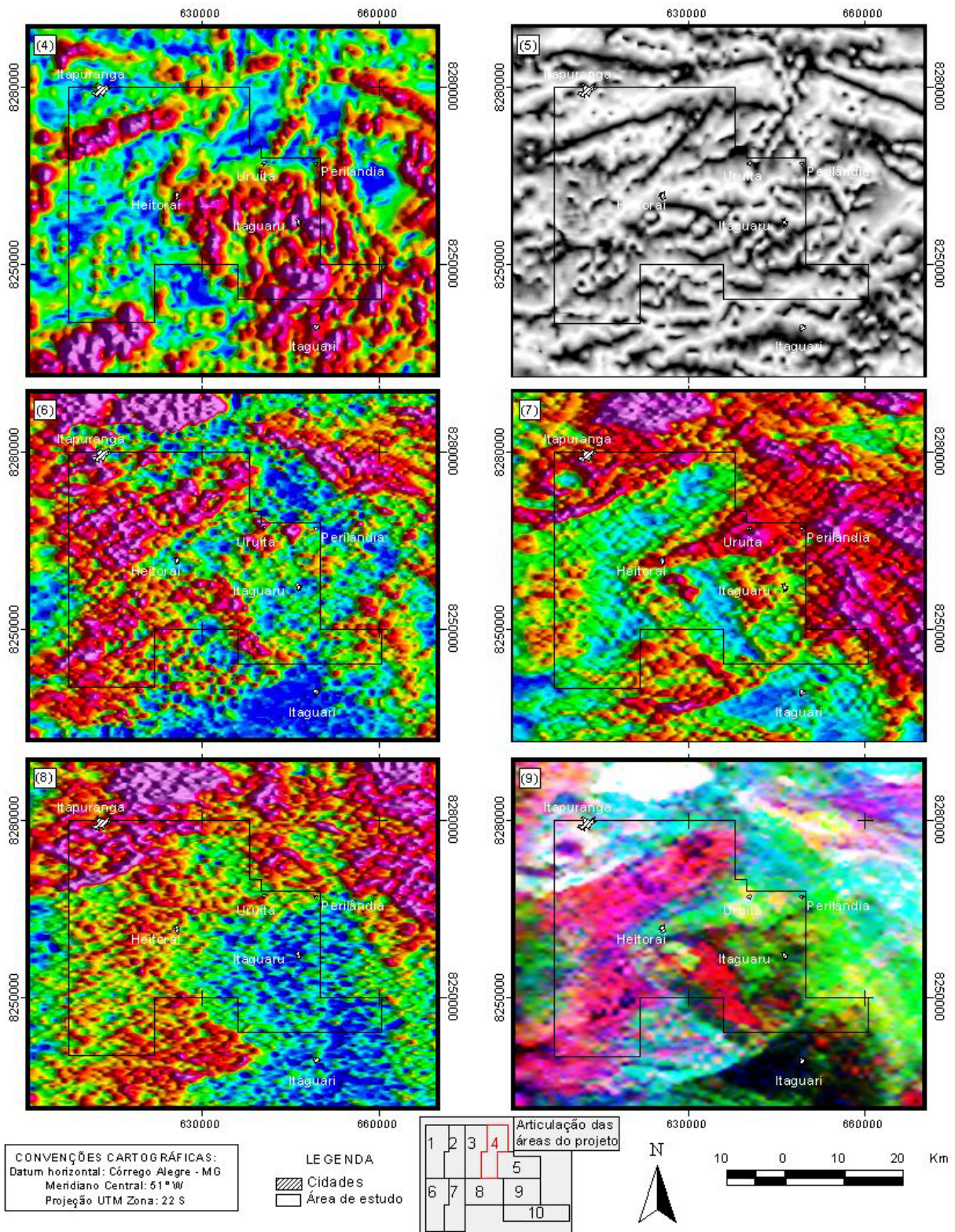
GEOSOFT, 1998, *OASIS Montaj v4.2.*: Canadá (Toronto) GEOSOFT, Inc.

Minty, B.R.S., 1991, *Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data: Expl. Geoph.* 22, p591-592.

### Agradecimentos

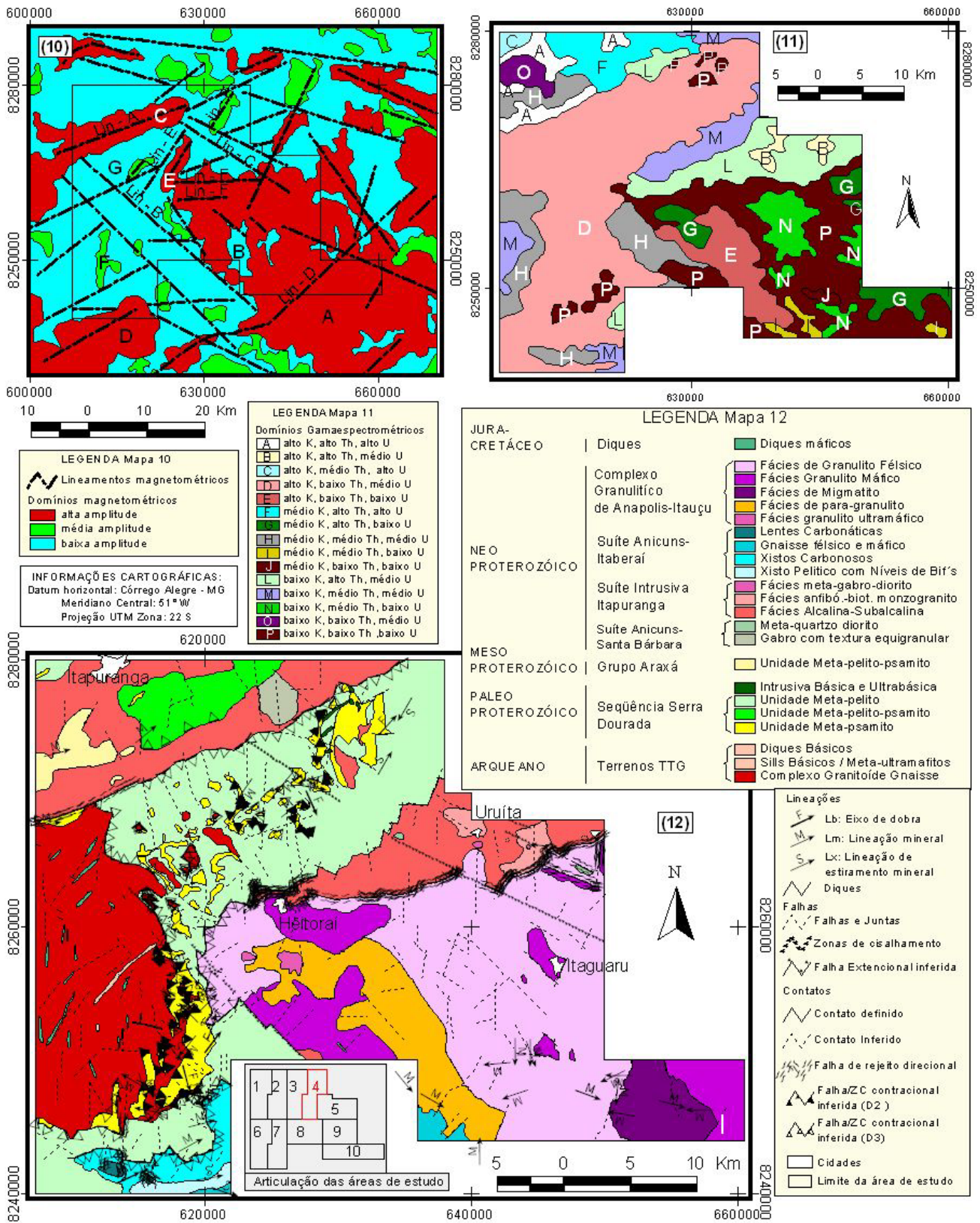
À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM e ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, pela cessão e permissão do uso dos dados do PGBC em trabalhos de pesquisa do Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA, Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UnB.





Figuras: (4)- Mapa da amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo. (5)- Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético anômalo. (6)- Mapa gamaespectrométrico do canal de potássio. (7)- Mapa gamaespectrométrico do canal de tório. (8)- Mapa gamaespectrométrico do canal de urânio. (9)- Mapa gamaespectrométrico da composição ternária RGB - K:Th:U.





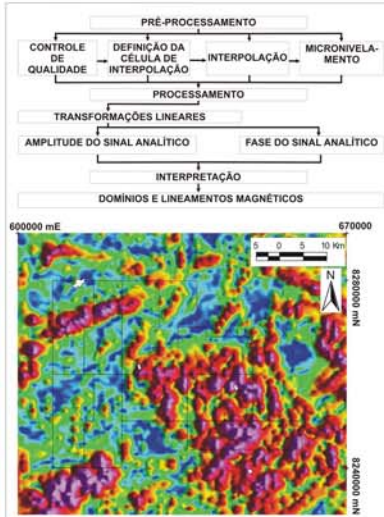
Figuras: (10) Mapa interpretativo de lineamentos e domínios magnetométricos extraídos das imagens da amplitude do sinal analítico e fase do sinal analítico. (11) Mapa de domínios gamaespectrométricos extraídos das imagens dos canais de potássio, tório, urânio e da imagem da composição ternária RGB – K:Th:U. (12) Mapa Geológico do Projeto Itaguara-Itapuranga (Araújo Filho –coord- et al., 2002, Inédito).



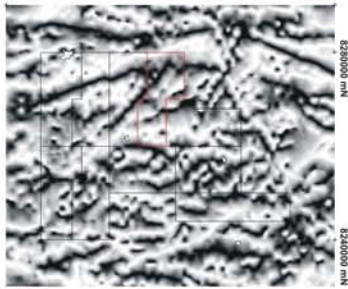
**Aplicação de dados aerogeofísicos no mapeamento geológico das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Itaguaru - Itapuranga, Goiás**

Marcelo Henrique Leão Santos, Rodrigo Malheiros Pontes, Marcelo de L. Bassay Blum, Roberto A. Vitória de Moraes, J. Oswaldo de Araújo Filho, Claudinei G. de Oliveira, Elton Luiz Dantas, Paulo R. Menezes, Sílvia R. Medeiros, Fausto de A. Lázari, Alan Armele

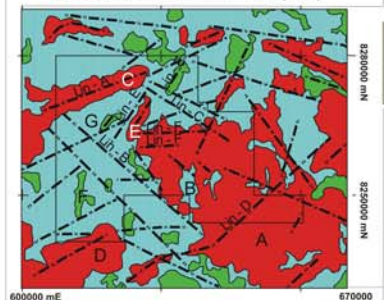
**MAGNETOMETRIA**



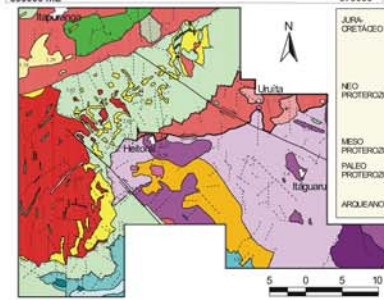
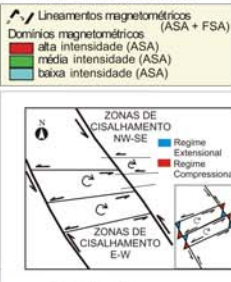
1- AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO (ASA)



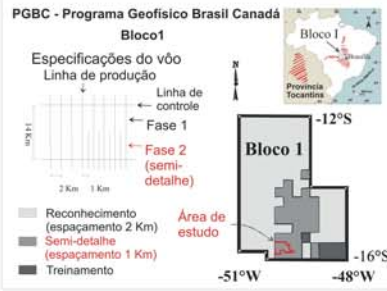
2- FASE DO SINAL ANALÍTICO (FSA)



**3- MAPA DE INTERPRETAÇÃO MAGNETOMÉTRICA**

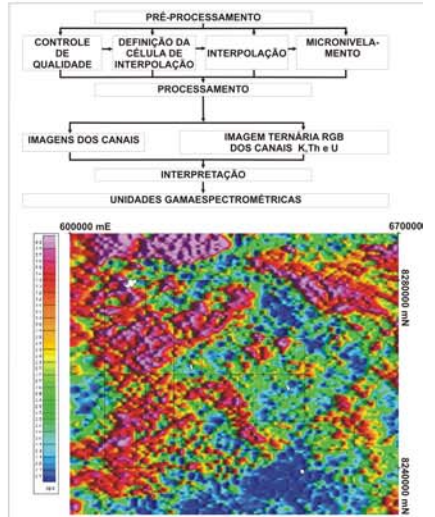


9- MAPA GEOLÓGICO DO PROJETO ITAGUARU-ITAPURANGA

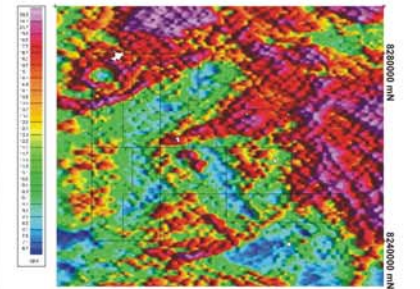


**Abstract**  
 The use of aerogeophysical data as a tool to geological mapping in areas where it is available is a normal procedure at the LGA. With the transformation and presentation tools now at disposition products generated during the processing of these data are showing features that help to understand the complexity of the local geology of many places. This poster is an example of this symbiosis. It presents geophysical information used to map Archean and Proterozoic terrains in the State of Goiás, Central Brazil. Geosoft software and ESRI ArcView were used throughout. Products generated were interpreted extensively before the field campaign. Magnetic lineaments and domains were interpreted together with gamma-ray spectrometric domains. Correlations were drawn to the mapped geological structures and units observed in field. The result of such correlation produced a consistent geological map, with a large number of structures and geological units difficult to map in the field.

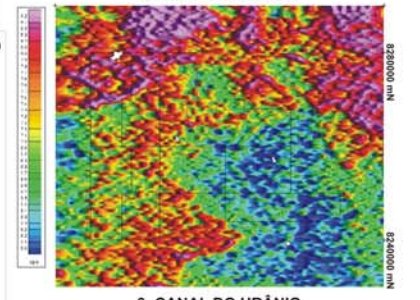
**GAMMAESPECTROMETRIA**



4- CANAL DO POTÁSSIO

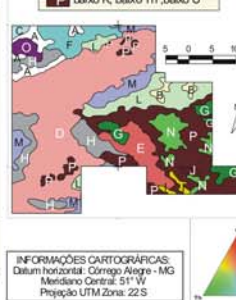
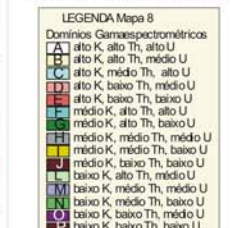


5- CANAL DO TÓRIO



6- CANAL DO URÂNIO

**8- MAPA DE INTERPRETAÇÃO GAMMAESPECTROMÉTRICA**



7- COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB - K:Th:U

XLLII Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá, Minas Gerais, 2004

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DA REGIÃO DE ITAPURANGA, HEITORAÍ E URUANA - GOIÁS**

**Fausto de Almeida Lazarin, Marcelo Henrique Leão Santos, José Eloi Guimarães Campos (UnB) faustolazarin@pop.com.br**

O estudo foi realizado no centro-oeste de Goiás, nos municípios de Itapuranga, Heitorai e Uruana. Uma área de 140 km<sup>2</sup> foi mapeada em escala 1:50.000, para se verificar as potencialidades dos recursos hídricos e ambientais da região.

A área comporta a Serra Dourada e terrenos rebaixados adjacentes. Geomorfologicamente caracteriza-se por serras, escarpas, morros, vales encaixados, relevos colinosos, e pelos terrenos rebaixados distribuídos sobre morfologia de relevo plano a suave ondulado.

Na região da Serra Dourada uma densa rede de drenagem decorrente da própria geologia, representada por mica xistos, quartzitos micáceos e quartzitos em geral com delgada cobertura de solos. As drenagens são condicionadas por planos de acamamento dos xistos e quartzitos em baixo ângulo, e por falhas e fraturas de alto ângulo. Essas drenagens são alimentadas no período seco do ano, pela descarga dos aquíferos adjacentes.

Nas áreas de baixada, correspondentes ao Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu e a Suíte Intrusiva Itapuranga, a drenagem principal é o Rio Uru, formado por um grande sistema de falhas e fraturas do regime tectônico regional.

A classificação dos aquíferos intergranulares foi baseada nas classes de solos observadas em campo. São caracterizados por materiais geológicos cuja porosidade é intergranular, onde o fluido ocupa os espaços entre os minerais constituintes, representados pelos solos e saprolitos. Esses aquíferos são reservatórios subterrâneos em meios geológicos não consolidados com grande extensão, continuidade lateral e homogêneos, moderadamente susceptíveis à contaminação por agentes externos. Funcionam como filtros, que favorecem a recarga dos aquíferos sotopostos e regularizam a vazão de base das drenagens superficiais nos períodos de recessão de precipitações.

Os exutórios estão relacionados a fontes do tipo depressão ou contato, cuja vazão média é controlada pelo tipo de regime de fluxo.

Os aquíferos do domínio fraturado são condicionados a porosidade secundária encontrada em rochas ígneas e metamórficas, cujos espaços ocupados pela água são representados por planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas.

Estes aquíferos são aproveitados por poços tubulares profundos e apresentam vazões que variam de 3,16 a 18,80 m<sup>3</sup>/h para o município de Itapuranga e de 0,72 a 9,54 m<sup>3</sup>/h para Heitorai, segundo cadastro de perfuração de poços cedido pela Fuad Rasi Engenharia.

Os aquíferos ligados aos domínios fraturados são recarregados diretamente pela infiltração de águas de precipitação a partir do domínio intergranular sobreposto, por fluxo vertical e lateral. A morfologia da paisagem é um importante fator controlador das principais áreas de recarga regionais.

Na área mapeada os aquíferos fraturados são livres, descontínuos lateralmente e anisotrópicos. Sua importância hidrogeológica é ampliada em função da extensa área de distribuição e dos tipos e características de ocupação, podem ser divididos nos sistemas aquíferos Serra Dourada, Anápolis-Itauçu e Itapuranga.

Apesar das vazões médias relativamente baixas, na região estudada, a água subterrânea deve ser vista como uma alternativa para abastecimento de pequenas comunidades isoladas e propriedades rurais, por isso é considerada um recurso estratégico.





# XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA ARAXÁ - 2004



## Caracterização Geológica e Hidrogeológica da Região de Itapuranga, Heitorai e Uruana - Goiás

Fausto de Almeida Lazarin, Marcelo Henrique Leão Santos, José Elói Guimarães Campos

O estudo foi realizado no centro-oeste de Goiás, nos municípios de Itapuranga, Heitorai e Uruana. Uma área de 140 km<sup>2</sup> foi mapeada em escala 1:50.000, para se verificar as potencialidades dos recursos hídricos e ambientais da região.

A área comporta a Serra Dourada e terrenos rebaixados adjacentes. Geomorfologicamente caracteriza-se por serras, escarpas, morros, vales encaixados, relevos colinosos, e pelos terrenos rebaixados distribuídos sobre morfologia de relevo plano a suave ondulado.



Na região da Serra Dourada há uma densa rede de drenagem decorrente da própria geologia, representada por mica xistos, quartzitos micáceos e quartzitos em geral com delgada cobertura de solos. As drenagens são condicionadas por planos de acamamento dos xistos e quartzitos em baixo ângulo, e por falhas e fraturas de alto ângulo. Essas drenagens são alimentadas no período seco do ano, pela descarga dos aquíferos adjacentes. Nas áreas de baixada, correspondentes ao Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu e a Suíte Intrusiva Itapuranga, a drenagem principal é o Rio Uru, formado por um grande sistema de falhas e fraturas do regime tectônico regional.

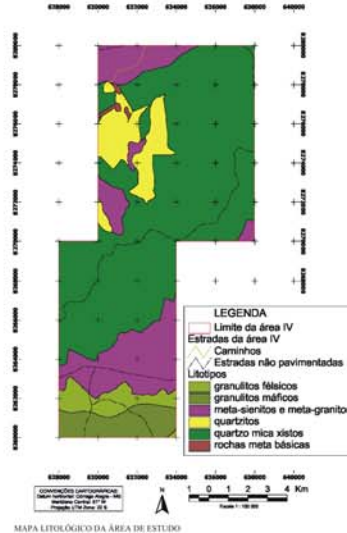


A classificação dos aquíferos intergranulares foi baseada nas classes de solos observadas em campo. São caracterizados por materiais geológicos cuja porosidade é intergranular, onde o fluido ocupa os espaços entre os minerais constituintes, representados pelos solos e saprolitos. Esses aquíferos são reservatórios subterrâneos em meios geológicos não consolidados com grande extensão, continuidade lateral e homogêneos, moderadamente susceptíveis à contaminação por agentes externos.

Funcionam como filtros, que favorecem a recarga dos aquíferos sotopostos e regularizam a vazão de base das drenagens superficiais nos períodos de recessão de precipitações.

Os aquíferos estão relacionados a fontes do tipo depressão ou contato, cuja vazão média é controlada pelo tipo de regime de fluxo.

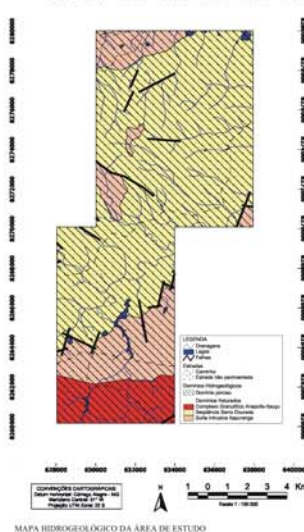
Os aquíferos do domínio fraturado são condicionados a porosidade secundária encontrada em rochas ígneas e metamórficas, cujos espaços ocupados pela água são representados por planos de fraturas, microfaturas, diaclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas.



Estes aquíferos são aproveitados por poços tubulares profundos e apresentam vazões que variam de 3,16 a 18,80 m<sup>3</sup>/h para o município de Itapuranga e de 0,72 a 9,54 m<sup>3</sup>/h para Heitorai, segundo cadastro de perfuração de poços cedido pela Fuad Rassi Engenharia.

Os aquíferos ligados aos domínios fraturados são recarregados diretamente pela infiltração de águas de precipitação a partir do domínio intergranular sobreposto, por fluxo vertical e lateral. A morfologia da paisagem é um importante fator controlador das principais áreas de recarga regionais.

Na área mapeada os aquíferos fraturados são livres, descontínuos lateralmente e anisotrópicos. Sua importância hidrogeológica é ampliada em função da extensa área de distribuição e dos tipos e características de ocupação, podem ser divididos nos sistemas aquíferos Serra Dourada, Anápolis-Itauçu e Itapuranga. Apesar das vazões médias relativamente baixas, na região estudada, a água subterrânea deve ser vista como uma alternativa para abastecimento de pequenas comunidades isoladas e propriedades rurais, por isso é considerada um recurso estratégico.



XLLII Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá, Minas Gerais, 2004

## TRATAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS AÉREOS MAGNÉTICOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

MARCELO HENRIQUE LEÃO SANTOS, AUGUSTO C. BITTENCOURT PIRES, ROBERTO A. VITÓRIA DE MORAES, CLAUDINEI G. DE OLIVEIRA - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ABSTRACT** This paper presents the processing of aerogeophysical data in terrains at the state of Minas Gerais. The data were processed using the software Geosoft, and the products generated was analyzed. The principal stages of processing are: characteristics of aerial survey, analysis and valuation of informations, interpolation, data confrontation, microleveling, and magnetic maps transformed. The three derives in x,y and z directions were calculated to transform the anomalous field in vertical derivative, total horizontal gradient, analytical signal and phase of analytical signal.

**INTRODUÇÃO** Este artigo descreve o tratamento e processamento dos dados magnéticos aéreos da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga, pertencentes a Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG (Figura 1).

**PROGRAMA DE LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS** O Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais, coordenado pela SEME - Secretaria de Minas e Energia foi realizado pelo Governo de Minas Gerais, e produziu uma base de dados geofísicos de grande valor para a redução dos riscos em pesquisa mineral das áreas selecionadas. A escala de trabalho, a tecnologia empregada na aquisição dos dados e os métodos utilizados são de boa qualidade e asseguram a produção de mapas aerogeofísicos confiáveis. Os métodos empregados foram o magnetométrico e o gamaespectrométrico, com sobrevôo a 100 m de altitude segundo linhas espaçadas entre si de 250 m, com linhas de controle perpendiculares às linhas de vôo e com espaçamento de 2.500 m.

Os dados são de semi-detahle, o período de aquisição dos dados é de 2000 - 2001 e as áreas possuem alto potencial mineral (COMIG, 2001).

Características do levantamento:

- Área: ~35.176 Km<sup>2</sup> de superfície;
- Linha de Vôo: N30°E / Linha de Controle: N60°W (Bloco Oeste);
- Linha de Vôo: N30°W / Linha de Controle: N60°E (Bloco Leste);
- Espaçamento linhas de vôo: 250 m;
- Espaçamento linhas de controle: 2500 m;
- Intervalo medições: 0,1 s;

- Velocidade aproximada do vôo: 200 Km/h;
- Intervalo de amostragem: 8 m no terreno;
- Altura média vôo: 100 m;
- Magnetômetro: vapor de césio; (GEOMETRICS G-822A); Instalado na “cauda” do avião; Resolução: 0,001 nT; Faixa: 20.000 – 95.000 nT;

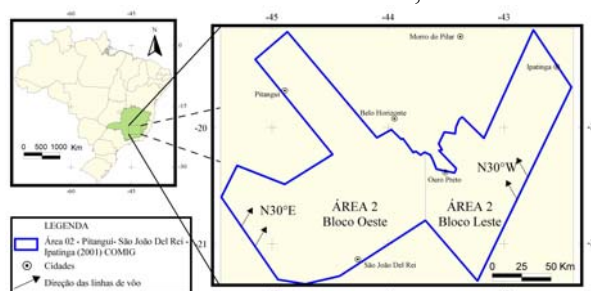


Figura 1 – Localização da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga.

**PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS** O processamento dos dados aerogeofísicos foi realizado no Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O processamento foi executado em meio digital com a utilização do programa *OASIS Montaj Inc. GEOSOFT* (GEOSOFT 1996, 1998). Os procedimentos para o processamento dos dados estão organizados no fluxograma da figura 2.

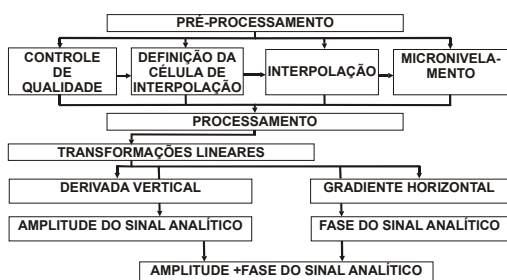


Figura 2 – Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aeromagnetométricos.

## ANÁLISE E AVALIAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

A distribuição, a densidade dos dados e as relações entre os pontos na superfície bidimensional foram analisados. Esses parâmetros são importantes para a geração da malha regular, na decisão do melhor método de interpolação e na interpretação dos dados.

O padrão dos dados é regular com os pontos localizados em uma malha onde a distância entre o ponto  $i$  e o ponto  $j$ , em relação à distância da tomada dos dados, é a mesma para todos os pares de pontos  $i$  e  $j$  no mapa. A regularidade está ao longo das linhas de vôo paralelas, que estão com espaçamento de 250 m. O conjunto de dados é uniforme com a densidade de pontos na direção da linha de vôo igual à densidade de pontos em todas as outras linhas de vôo. E a densidade na direção das linhas de controle está definido pelo espaçamento de 2500 m. A densidade na direção da linha de vôo é muito maior que na direção das linhas de controle.

A vantagem dos valores estarem determinados em pontos localizados em nós de malha com distâncias iguais é a aplicação nos dados de vários tratamentos de duas dimensões, como filtros bidimensionais, contornos e processamento de imagens (GEOSOF 1995).

O mapa das linhas de vôo foi plotado para se verificar a distribuição em malha regular. O padrão das linhas de vôo não tiveram eventuais desvios.

Os dados foram analisados e avaliados para se verificar a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” ou picos (*spikes*), e à distribuição das linhas de vôo. A diferença de quarta ordem foi utilizada para identificar os picos.

**INTERPOLAÇÃO** O processamento para gerar a malha regular é constituído pela leitura dos dados brutos e a interpolação dos mesmos, para se determinar os valores dos nós de malha. Em função da distribuição dos dados

brutos é escolhido o método de interpolação mais adequado.

Os métodos de interpolação utilizados foram o de curvatura mínima, o bi-direcional, o bi-direcional com ângulo de tendência e o Krigagem, com controle de fidelidade dos dados originais para a interpolação em malhas regulares. O tamanho da célula utilizada para interpolar o banco de dados foi de 50 metros.

**Curvatura Mínima** O método de curvatura mínima faz com que os valores fiquem o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada (Keckler 1994, GEOSOF 1995). Tem a vantagem de ser rápido e eficiente para conjuntos de dados grandes com mais de 1000 amostragens. A superfície é semelhante a uma placa fina, elástica de forma linear que passa pelos valores dos dados com uma flexão mínima (Keckler 1994).

**Bi-direcional** O método bi-direcional é indicado para interpolar dados que estejam em linhas aproximadamente paralelas. Este método é rápido para dados distribuídos desta forma e tende a intensificar tendências perpendiculares às direções das linhas do levantamento. Tem como vantagem a possibilidade de processar um número ilimitado de dados e como desvantagem a não possibilidade de ser utilizado para dados de distribuição aleatória.

O processamento é feito a partir da interpolação de cada linha ao longo da linha do levantamento original, depois a interpolação é feita na direção perpendicular para criar os nós.

Os *Splines* testados para interpolação foram: Linear-Linear, *Akima-Akima*, Linear-*Akima* e *Akima-Linear*, para *Spline down-line* e *Spline across-line*, respectivamente.

O banco de dados também foi interpolado com o método bi-direcional com ângulo de tendência de 150° (Bloco Oeste) e de 30° (Bloco Leste) a partir do eixo x no sentido anti-horário, para evidenciar feições geológicas nas direções especificadas. Como as linhas de vôo estão perpendiculares à tendência regional das feições geológicas o ângulo de tendência usado foi perpendicular às linhas de vôo.

**Krigagem** O método da Krigagem é baseado em geoestatística, pode ser utilizado por quase todos os tipos de dados e é bastante flexível. Este método faz a tentativa de expressar as tendências direcionais sugeridas pelos dados,



evita a formação dos *bull's-eyes* e pode ser um método exato ou suavizado (Keckler 1994).

A krigagem pode ser usada para dados distribuídos em linha e é indicado para dados com distribuição aleatória.

Os vários fatores que compõem este método são os seguintes: o modelo do variograma que mostra a correlação dos dados em função da distância (GEOSOFT, 1995); o tipo de deriva, sem deriva, deriva linear ou quadrática; e o efeito pepita com dados destoantes dos outros (Keckler, 1994).

No método *kriging* também se utilizou célula de 100 metros e o processamento foi bastante lento por ser um conjunto de dados muito grande.

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS** Os mapas com interpolação bidirecional e com diferentes *Splines* foram comparados. As interpolações *Linear-Akima* e *Akima-Akima* ficaram praticamente idênticas e melhores que as outras.

Foram criados os mapas interpolados pelos métodos da curvatura mínima, bidirecional e krigagem, com sombreamento e iluminação de 60° (Bloco Leste) e 120° (Bloco Oeste) perpendicular às linhas de vôo para evidenciá-las. O método bidirecional com ângulo de tendência foi o que melhor interpolou a malha.

Foram criados os perfis das linhas de vôo para o dado bruto e para os três métodos de interpolação: curvatura mínima, bi-direcional e krigagem.

Os perfis foram comparados para se decidir qual o método foi mais eficaz. Os perfis obtidos com o método bi-direcional com ângulo de tendência tiveram uma maior fidelidade ao sinal do dado bruto e tiveram valores mais próximos, por isso foi utilizado para o processamento.

**MICRONIVELAMENTO** O micronivelamento é empregado nas linhas de produção para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Para tanto se utilizou a técnica de micronivelamento (Minty 1991) com o algoritmo *Microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

O banco de dados foi rotacionado para que as linhas de vôo fiquem com direção norte-sul para se aplicar o algoritmo de micronivelamento. O algoritmo aplica filtros simples e diferentes na direção da linha de vôo

e da linha de controle. A técnica consiste nos seguintes procedimentos:

- 1- Em uma primeira malha é aplicado um filtro passa-alta perpendicularmente às linhas de vôo, a resposta é armazenada em uma segunda malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo duas vezes o espaçamento das linhas de vôo;
- 2- na segunda malha é aplicado um filtro passa-baixa na direção da linha de vôo, a resposta é armazenada em uma terceira malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo o espaçamento entre as linhas de controle;
- 3- a terceira malha corrigida é subtraída da primeira malha para se obter a malha final.

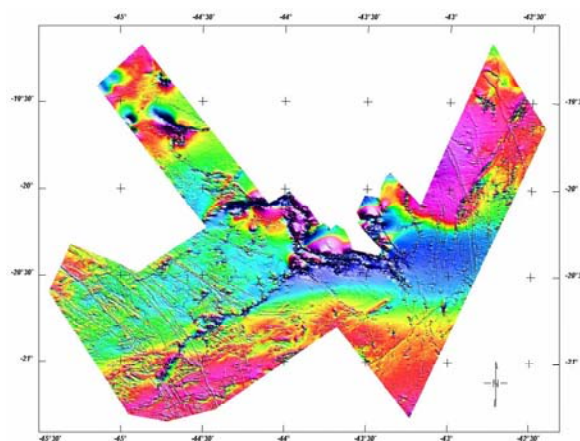


Figura 3 – Mapa do Campo Magnético Total.

#### IMAGENS MAGNÉTICAS TRANSFORMADAS

As derivadas horizontais  $x$ ,  $y$  e vertical  $z$ ; foram calculadas a partir do campo anômalo com o executável *Magmap* do *Geosoft*, pelas seguintes etapas:

- 1- a preparação do grid utilizou o tipo de superfície de tendência a ser retirada de primeira ordem, a tendência foi baseada em todos os pontos e a expansão quadrática;
- 2- aplicação da Transformada Rápida de Fourier – FFT;
- 3- definição dos filtros para cada uma das direções das derivadas em  $x$ ,  $y$  e  $z$ ;
- 4- aplicação dos filtros definidos.

A partir das derivadas foram calculados o gradiente horizontal total, a amplitude do sinal analítico e a fase do sinal analítico com as expressões definidas abaixo.

**Gradiente horizontal** O gradiente horizontal é dado pela fórmula



$$\vec{h}_0(x, y) = \left( \frac{\partial G}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial G}{\partial y} \hat{y} \right)$$

a sua magnitude é a raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas parciais de um campo potencial  $G_z(x, y)$  em relação a  $x$  e a  $y$  (Blum, 1999), ou seja,

$$h(x, y) = \sqrt{\left[ \left( \frac{\partial G_z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial G_z(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right]}$$

Esta transformação pode indicar mudanças laterais abruptas da propriedade física medida e tende a mostrar picos acima dos limites das fontes causadoras de anomalias.

**Sinal Analítico** O sinal analítico é utilizado para localização de extremidades, bordas, e para estimar profundidades de corpos geométricos geológicos. São vários métodos automatizados ou semi-automatizados com base no uso de derivadas horizontais e verticais de um campo potencial. Tem como principal vantagem a não dependência de suas respostas dos parâmetros do campo magnético terrestre e da direção de magnetização da fonte (Blum, 1999).

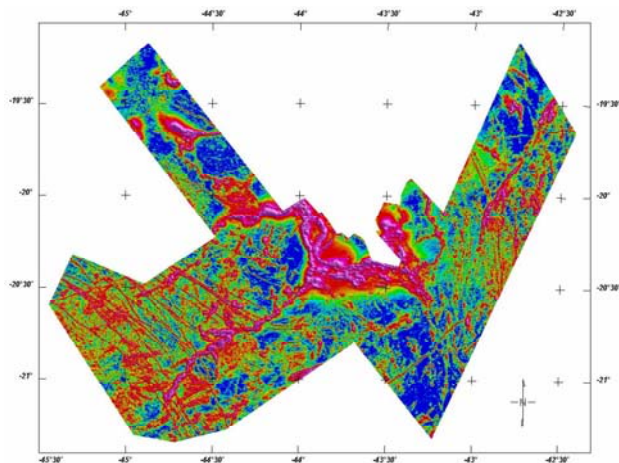


Figura 4 – Mapa da Amplitude do Sinal Analítico.

**Fase do Sinal Analítico** A fase do sinal analítico é representada pela equação

$$\Phi(x, y) = \arctan\left(G_z / \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2}\right)$$

A relação que determina a fase do sinal analítico é

$$\Phi = \arctan\left(\frac{\text{Im}(A_n(x, y))}{\text{Re}(A_n(x, y))}\right)$$

onde  $n$  é a ordem do sinal analítico, Im e Re são as partes imaginária e real do sinal analítico no domínio de Fourier.

A expressão da magnitude da fase do sinal analítico de ordem  $n$  é

$$\Phi_n(x, y) = \arctan\left(\left(\frac{\partial G_z^n}{\partial z}\right) / \sqrt{\left(\frac{\partial G_z^n}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial G_z^n}{\partial y}\right)^2}\right)$$

Pode-se estimar o contraste local de susceptibilidade.

### PRODUTOS FINAIS

- campo magnético anômalo (Figura 3);
- derivada vertical de 1ª ordem em tons de cinza, sombreada;
- gradiente horizontal total de ordem 0 colorida, sombreada;
- amplitude do sinal analítico de ordem 0, colorida e sombreada (Figura 4);
- fase do sinal analítico de ordem 0 em tons de cinza, sombreada;
- composição da amplitude do sinal analítico sobre a fase do sinal analítico de ordem 0, colorida e sombreada.

**CONCLUSÕES** O entendimento do levantamento foi essencial para criar os métodos de tratamento dos dados, que nos possibilitou ter um controle de qualidade dos valores levantados. Com os dados tratados foi possível fazer um processamento muito mais confiável. As transformações feitas nos mapas realçaram as respostas magnéticas das feições geológicas. O gradiente horizontal pode indicar mudanças laterais abruptas da propriedade física medida. O sinal analítico é utilizado para localização de extremidades e bordas, e para estimar profundidades de corpos geométricos geológicos. A fase do sinal analítico pode estimar o contraste local de susceptibilidade. O rigoroso acompanhamento do tratamento e do processamento dos dados levou a uma maior confiabilidade nos produtos gerados, a se conhecer a natureza dos dados e a se criar um método muito mais eficaz para a posterior interpretação geológica dos mapas geofísicos.

**Agradecimentos** À Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG, pela cessão e permissão do uso dos dados dos levantamentos aerogeofísicos em trabalhos de pesquisa do Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA,

Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UnB.

### Referências

- Blum, M. L. B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral*, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado N° 30, 229p.
- Blum, M. L. B. et all. 2001. *Aplicação de Dados Aerogeofísicos no Mapeamento Geológico do Limite entre os Terrenos Arqueanos e Proterozóicos da Região de Crixás Cedrolina, Goiás*. *Revista Brasileira de Geociências.*, 31(3): 279-286.
- GEOSOFT 1995. *GEOSOFT Mapping and processing system*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1996. *MAGMAP 2-D frequency domain processing*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1998. *OASIS Montaj 4.2*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- Keckler, D. 1994. *Surfer for Windows. User's guide. Contouring and 3D surface mapping*. Golden software, Inc. Golden, 234p.
- Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 2001. *Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 2 – Pitangui-São João Del Rei-Ipatinga*. Texto Técnico; SEME/COMIG.
- Minty, B.R.S. 1991. *Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data*. *Expl. Geoph.* 22;:591-592
- Parro, P.S. 1998. *Magnetometria e Gamaespectrometria Aerotransportadas na Interpretação Geológico-Estrutural da Região dos Rios Juruena e Teles Pires (MT)*, Universidade de Brasília. Tese de mestrado N° 129.

XLLIII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, Sergipe, 2006

## TRATAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS GEOFÍSICOS AÉREOS GAMASPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

M. H. Leão Santos 1, A. C. B. Pires 2, C. G. Oliveira 3 e R. A. V. Moraes 4

1 Companhia Vale do Rio Doce, CVRD-DIPM Estrada Raimundo Mascarenhas km 36, Escritório N5, 68516-000, caixa postal 09, Serra dos Carajás – PA, [marcelo.leao@cvrd.com.br](mailto:marcelo.leao@cvrd.com.br)

2 Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, ICC Centro – Campus Universitário Darcy Ribeiro 70919-970, Brasília – DF, [acbpirez@unb.br](mailto:acbpirez@unb.br)

3 Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, ICC Centro – Campus Universitário Darcy Ribeiro 70919-970, Brasília – DF, [gouveia@unb.br](mailto:gouveia@unb.br)

4 Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, ICC Centro – Campus Universitário Darcy Ribeiro 70919-970, Brasília – DF, [rmoraes@unb.br](mailto:rmoraes@unb.br)

**This work describes the processing of airborne gamaspectrometry data from Area 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga and Area 3 - Morro do Pilar – Serro – Guanhanes. Characteristics of the survey are presented along with the theoretical concepts used to extract geophysical information from the data. The data processing followed a specific sequence whereby a standard geographic projection was sought, before quality control and interpolation was undertaken. Transformation to a geophysical product was achieved subsequent to further testing and filtering. A rigorous analysis of the specifications enhanced the process of quality control, which, combined with careful inspection of raw data, improved the level of faith in the final product.**

Aerogeofísica, Tratamento, Processamento, Gamaspectrometria, Minas Gerais.

### INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve o tratamento e processamento dos dados gamaespectrométricos aéreos da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga e Área 3 - Morro do Pilar – Serro - Guanhanes, pertencentes à Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG (Fig.1).

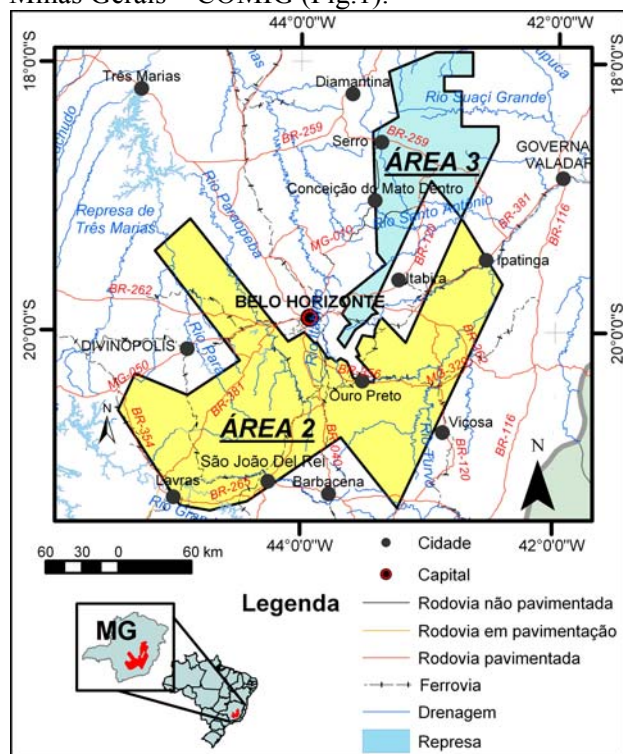


Figura 1. Localização da Área 2 - Pitangui – São João Del Rei – Ipatinga e Área 3 Morro do Pilar – Serro - Guanhanes.

### OBJETIVOS

Os objetivos principais foram a caracterização dos levantamentos, a conceituação teórica do tratamento e processamento, o tratamento e processamento dos dados e evidenciar as respostas gamaespectrométricas.

### PROGRAMA DE LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

O Programa de Levantamento Aerogeofísico do Estado de Minas Gerais, coordenado pela SEME - Secretaria de Minas e Energia foi realizado pelo Governo de Minas Gerais, e produziu uma base de dados geofísicos de grande valor para a redução dos riscos em pesquisa mineral das áreas selecionadas. A escala de trabalho, a tecnologia empregada na aquisição dos dados e os métodos utilizados são de boa qualidade e asseguram a produção de mapas aerogeofísicos confiáveis. Os métodos empregados foram o magnetométrico e o gamaespectrométrico, com sobrevôo a 100 m de altitude segundo linhas espaçadas entre si de 250 m, com linhas de controle perpendiculares às linhas de vôo e com espaçamento de 2.500 m.

Os dados são de semi-detilhe, o período de aquisição dos dados é de 2000 - 2001 e as áreas possuem alto potencial mineral (COMIG, 2001). Características dos aerolevantamentos:

- Velocidade aproximada do vôo: 200 Km/h;
- Sistema de navegação: GPS Picodas / NovAtel /Racal.

Área 2 - Pitangui – São João Del Rei - Ipatinga

- Área: ~35.176 Km<sup>2</sup> de superfície;
  - Direção das linhas de vô: N30°E / linhas de controle: N60°W (Bloco Oeste);
  - Direção das linhas de vô: N30°W / linhas de controle: N60°E (Bloco Leste).
- Área 3 - Morro do Pilar – Serro – Guanhães
- Direção das linhas de vô: N30°W; Direção das linhas de controle: N60°E.

**GAMAESPECTRÔMETRO**

O gamaespectrômetro utilizado na Área 2 foi o EXPLORANIUM, modelo GR-820; e na Área 3 o Sistema Picodas, modelo PGAM. Ambos tem 256 canais espectrais e fazem medições com intervalos de 1 segundo. A amostragem na Área 2 foi de 80 m no terreno e na Área 3 foi de 70 m no terreno. O detector para baixo tem dois conjuntos de cristais (NaI) de 1024 polegadas cúbicas, ou seja, um total de 2048 polegadas cúbicas. E o detector para cima tem dois cristais de 256 polegadas cúbicas, num total de 512 polegadas cúbicas.

**PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS**

O processamento dos dados aerogeofísicos foi realizado no Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O processamento foi executado em meio digital com a utilização do programa *OASIS Montaj Inc. GEOSOFT* (GEOSOFT, 1996, 1998). Os procedimentos para o processamento dos dados estão organizados no fluxograma abaixo (Fig.2).

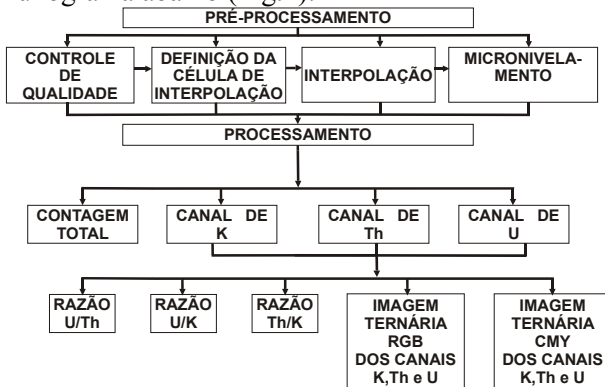


Figura 2. Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aerogamaespectrométricos.

A primeira etapa consistiu na conversão da projeção do banco de dados. Os dados foram convertidos da projeção UTM – zona 23 S, datum Córrego Alegre, para a projeção policônica, datum SAD – 69. A projeção policônica foi utilizada por facilitar a integração de dados regionais. Foi utilizado o meridiano central -54° W que passa no centro do Brasil.

**Controle de Qualidade**

A distribuição, a densidade, a uniformidade dos dados e as relações entre os pontos na superfície bidimensional foram analisados.

O padrão dos dados pode ser considerado regular, mas com diferentes densidades nas linhas de vô e linhas de controle. A densidade na direção da linha de vô é muito maior que na direção das linhas de controle. A regularidade está ao longo das linhas de vô paralelas, que estão com espaçamento de 250 m. O conjunto de dados é uniforme com a densidade de pontos na direção da linha de vô igual à densidade de pontos em todas as outras linhas de vô. E a densidade na direção das linhas de controle está definida pelo espaçamento de 2500 m.

Os dados foram analisados e avaliados para se verificar a consistência dos dados e a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” (*nuggets*) ou picos (*spikes*), e à distribuição das linhas de vô. A diferença de quarta ordem foi utilizada para identificar as inconsistências (Fig.3). Os dados não estão destoantes dos demais e não foram observados dados anômalos (Fig.4).

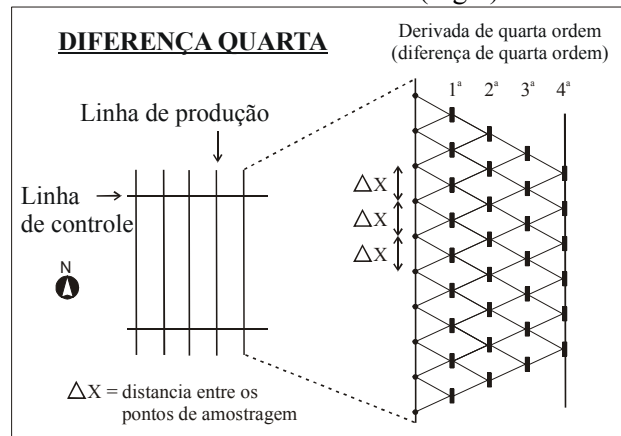


Figura 3. A diferença de quarta ordem.

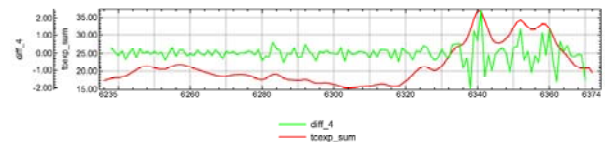


Figura 4. Perfis de contagem total em taxa de exposição (vermelho) e da diferença de quarta ordem (verde).

O mapa das linhas de vô foi plotado para se verificar a distribuição em malha regular. O padrão das linhas de vô não tiveram eventuais desvios (Fig.5). Na Área 2 bloco leste, das 7100 linhas de vô apenas 30 tem desvios, ou seja, apenas 0,4 %. Algumas sobreposições de linhas de vô foram retiradas quando tinham desvios.



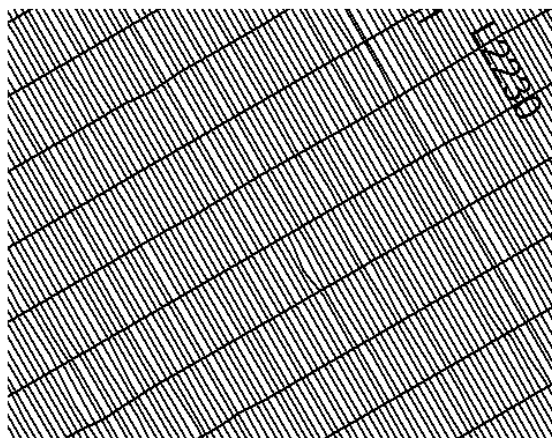


Figura 5. Linhas de vôo da Área 2 bloco oeste, com os eventuais desvios observados.

Os valores de concentração foram observados para verificar se estão dentro da variação esperada para taxa de exposição na contagem total, para porcentagem (%) no canal de potássio e partes por milhão (ppm) nos canais de tório e urânio.

Os valores de concentração não podem ser negativos, para se retirar esses valores gerados no levantamento dos dados foi somado o valor mínimo de cada canal a todos os valores do canal. A este valor foi somado 0,01 para que o valor não fique zerado e prejudique a razão entre canais.

No geral, os dados foram considerados precisos pelo controle de qualidade. Isto devido aos dados serem recentes e ao levantamento, que utilizou as últimas tecnologias existentes no mercado.

### **Interpolação**

O processamento para gerar a malha regular é constituído pela leitura dos dados medidos e a interpolação dos mesmos, para se determinar os valores dos nós de malha. Em função da distribuição dos dados medidos é escolhido o método de interpolação mais adequado.

O tamanho da célula utilizada para interpolar o banco de dados foi de 100 metros. O tamanho da célula deve ser de no máximo  $\frac{1}{4}$  do espaçamento das linhas de vôo. A definição da célula foi feita pela análise visual dos mapas para verificar se não havia perda no conteúdo de informação de alta frequência e o falseamento (*aliasing*) nos dados que é a incorporação de frequências mais altas sem solução nas frequências mais baixas. A célula de 100 metros foi utilizada para não gerar arquivos muito grandes e com um grande número de pontos de malhas nas direções x e y.

Os métodos de interpolação utilizados foram o de curvatura mínima, o bi-direcional e o bi-direcional com ângulo de tendência, com controle de fidelidade dos dados originais para a interpolação em malhas regulares.

O método de curvatura mínima faz com que os valores fiquem o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada (Keckler, 1994; GEOSOFT, 1995). Tem a vantagem de ser rápido e eficiente para conjuntos de dados grandes com mais de 1000 amostragens. A superfície é semelhante a uma placa fina, elástica de forma linear que passa pelos valores dos dados com uma flexão mínima (Keckler, 1994).

O método bi-direcional é indicado para interpolar dados que estejam em linhas aproximadamente paralelas. Este método é rápido para dados distribuídos desta forma e tende a intensificar tendências perpendiculares às direções das linhas do levantamento. Tem como vantagem a possibilidade de processar um número ilimitado de dados e como desvantagem a não possibilidade de ser utilizado para dados de distribuição aleatória. Este método considera a diferença de densidade nas duas direções do levantamento.

O processamento é feito a partir da interpolação de cada linha ao longo da linha do levantamento original, depois a interpolação é feita na direção perpendicular para criar os nós.

Os *Splines* utilizados para interpolação foram *Akima-Akima*, para *Spline* ao longo dos perfis e *Spline* perpendiculares aos perfis.

O banco de dados também foi interpolado com o método bi-direcional com ângulo de tendência de 150° para a Área 2 - Bloco Oeste e de 30° para a Área 2 - Bloco Leste e para a Área 3.

O ângulo de tendência é definido a partir do eixo x no sentido anti-horário e é utilizado para evidenciar feições geológicas nas direções especificadas. Como as linhas de vôo estão perpendiculares à tendência regional das feições geológicas o ângulo de tendência usado foi perpendicular às linhas de vôo.

### **Comparação dos resultados da interpolação**

Foram criados os mapas interpolados pelos métodos da curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência, com sombreado e iluminação perpendicular às linhas de vôo para evidenciá-las. O ângulo da iluminação foi de 120° para a Área 2 - Bloco Oeste e de 60° para a Área 2 - Bloco Leste e para a Área 3. O método bidirecional com ângulo de tendência foi o que melhor interpolou a malha.

### **Teste da Eficácia da Interpolação**

Foi feita a amostragem das malhas para o dado medido e para os três métodos de interpolação: curvatura mínima, bi-direcional e bi-direcional com ângulo de tendência. Posteriormente foram criados os perfis das linhas de vôo. Os perfis foram

comparados para se decidir qual o método foi mais eficaz (Fig.6).

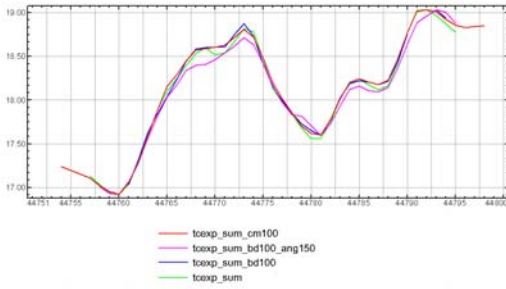


Figura 6. Perfis de uma linha de voo da Área 2 bloco oeste para cada método de interpolação da contagem total. Dado original (verde), curvatura mínima (vermelho), bi-direcional (azul) e bi-direcional com ângulo de tendência (roxo).

O método da curvatura mínima suavizou melhor os dados, teve uma maior fidelidade e valores mais próximos ao sinal do dado medido, por isso foi utilizado para o processamento (Fig.7).

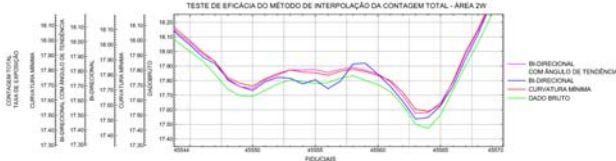


Figura 7. Teste de eficácia dos métodos de interpolação. Detalhe dos perfis de uma linha de voo da Área 2 bloco oeste da contagem total. Dado original (verde), curvatura mínima (vermelho), bi-direcional (azul) e bi-direcional com ângulo de tendência (roxo).

Um dos motivos para a escolha do método da curvatura mínima é a natureza dos dados gamaespectrométricos. O campo é aleatório e sensível às muitas variações ambientais. A curvatura mínima utiliza a média do campo aleatório e os valores ficam o mais próximo possível dos dados originais para gerar uma superfície suavizada mais confiável.

O controle de qualidade, as comparações e os testes foram feitos para a contagem total, que inclui o espectro dos três canais, e para o canal de urânio, que é mais susceptível as variações ambientais por ser um elemento de alta mobilidade. Com isso se tem um bom controle dos dados gamaespectrométricos.

**Decorrugação**

A decorrugação é útil nas linhas de produção para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Para tanto se utilizou a técnica de micronivelamento (Minty, 1991) com o algoritmo *Microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

O banco de dados foi rotacionado para que as linhas de voo fiquem com direção norte-sul para se

aplicar o algoritmo de micronivelamento. O algoritmo aplica filtros simples e diferentes na direção da linha de voo e da linha de controle. A técnica consiste nos seguintes procedimentos:

1- Em uma primeira malha é aplicado um filtro passa-alta perpendicularmente às linhas de voo, a resposta é armazenada em uma segunda malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo duas vezes o espaçamento das linhas de voo;

2- na segunda malha é aplicado um filtro passa-baixa na direção da linha de voo, a resposta é armazenada em uma terceira malha. O comprimento de onda tem que ter no mínimo o espaçamento entre as linhas de controle;

3- a terceira malha corrigida é subtraída da primeira malha para se obter a malha final.

O micronivelamento se mostrou extremamente eficiente no nivelamento dos dados (Figs 8,9).

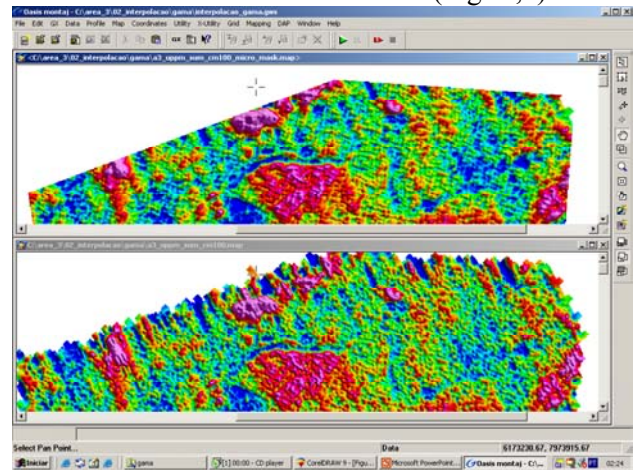


Figura 8. Micronivelamento do mapa do canal de urânio na porção norte da Área 3. Em baixo mapa sem micronivelamento e em cima mapa micronivelado.

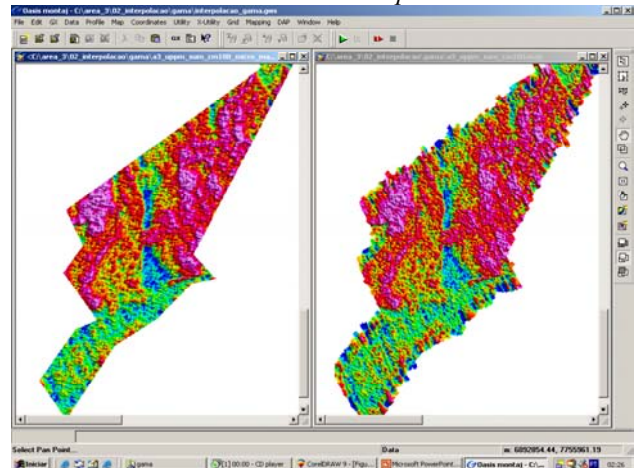


Figura 9. Micronivelamento do mapa do canal de urânio na porção sul da Área 3. À direita mapa sem micronivelamento e à esquerda mapa micronivelado.

**PRODUTOS FINAIS - MAPAS GAMAESPECTROMÉTRICOS**

- Mapa da Radiação de Contagem Total (taxa de exposição) (Fig.10);

- Mapa do Canal da Radiação do Potássio - K (porcentagem - %);
- Mapa do Canal da Radiação do Tório - Th (partes por milhão – ppm) (Fig.11);
- Mapa do Canal da Radiação do Urânio - U (partes por milhão – ppm) (Fig.12);
- Mapa da Razão dos Canais de U/Th;
- Mapa da Razão dos Canais de U/K;
- Mapa da Razão dos Canais de Th/K (Fig.13);
- Mapa Ternário RGB - K:Th:U (R *red*-potássio, G *green*-tório e B *blue*-urânio) (Fig.14);
- Mapa Ternário CMY - K:Th:U (C *ciano*-potássio, M *magenta*-tório e Y *yellow*-urânio);
- Modelo Digital do Terreno – MDT e
- Imagem de superfície 3D do canal de U sobre o MDT (Fig.15).

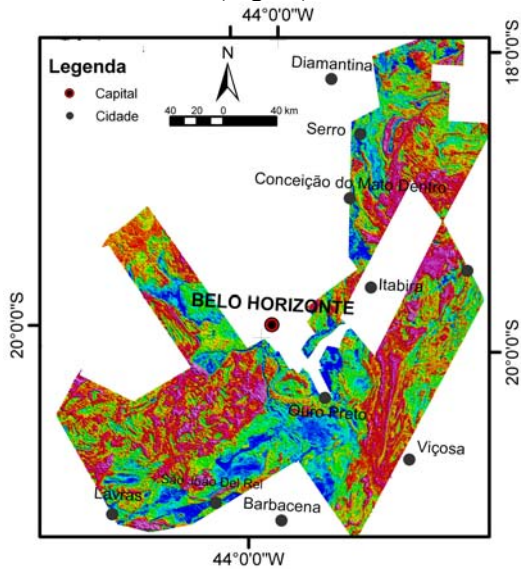


Figura 10. Mapa de Contagem Total (taxa de exposição).

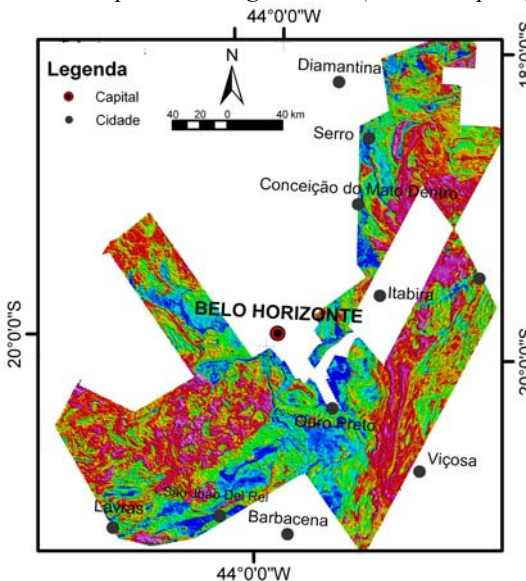


Figura 11. Mapa do Canal do Tório - Th (ppm).

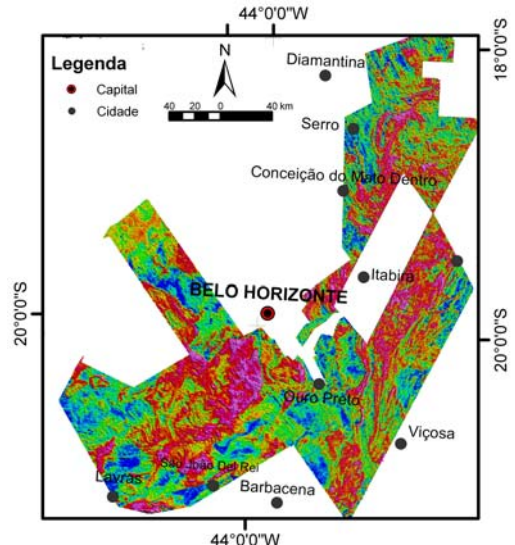


Figura 12. Mapa do Canal do Urânio - U (ppm).

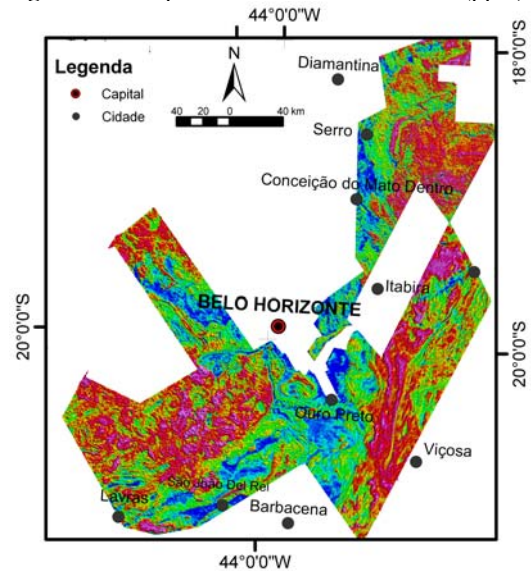


Figura 13. Mapa da Razão dos Canais de Th/K.

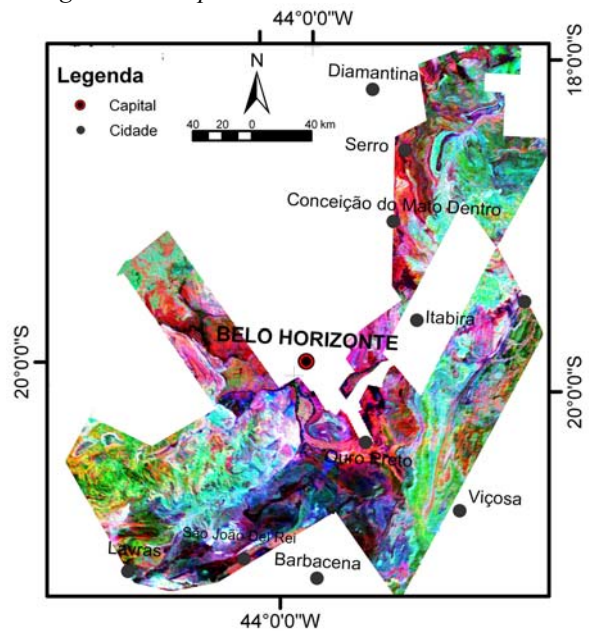


Figura 14. Mapa Ternário RGB - K:Th:U.



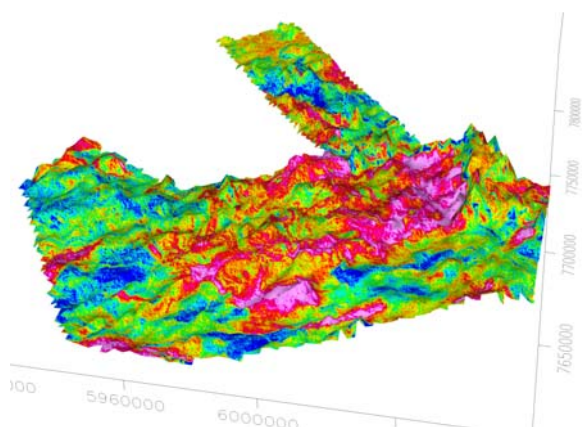


Figura 15. Imagem de superfície 3D do canal de U sobre o MDT.

## CONCLUSÕES

O entendimento do levantamento foi essencial para criar os métodos de tratamento dos dados, que nos possibilitou ter um controle de qualidade dos valores levantados. Com os dados tratados foi possível fazer um processamento muito mais confiável.

Os parâmetros do controle de qualidade são importantes para a geração da malha regular, na decisão do melhor método de interpolação e na interpretação dos dados.

A interpolação gera uma malha regular, a vantagem dos valores estarem determinados em pontos localizados em nós de malha com distâncias iguais é a aplicação nos dados de vários tratamentos de duas dimensões, como filtros bidimensionais, contornos e processamento de imagens (GEOSOFT, 1995).

Os mapas ternários mostram uma visualização da variação dos três canais em conjunto. Como o canal de urânio é mais influenciado por variações

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blum, M. L. B. 1999. *Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral*, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado Nº 30, 229p.
- GEOSOFT 1995. *GEOSOFT Mapping and processing system*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1996. *MAGMAP 2-D frequency domain processing*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- GEOSOFT 1998. *OASIS Montaj 4.2*. GEOSOFT, Inc., Toronto.
- Keckler, D. 1994. *Surfer for Windows. User's guide. Contouring and 3D surface mapping*. Golden software, Inc. Golden, 234p.
- Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 2001. *Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 2 – Pitangui-São João Del Rei-Ipatinga*: Texto Técnico; SEME/COMIG.
- Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 2001. *Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos de Minas Gerais, Área 3 – Morro do Pilar-Serro-Guanhães*: Texto Técnico; SEME/COMIG.
- Minty, B.R.S. 1991. *Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data*. *Expl. Geoph.* 22;:591-592.

ambientais é geralmente colocado na cor azul, pois é uma cor menos perceptível ao olho humano.

A sobreposição de imagens dos canais com alta mobilidade sobre a superfície em três dimensões do modelo digital do terreno, nos mostra o comportamento dos radioelementos em relação à lixiviação.

As razões dos canais realçam evidências da percolação de fluidos e mineralizações associadas.

As transformações feitas nos mapas realçaram as respostas gamaespectrométricas dos corpos litológicos e das feições geológicas. As estruturas observadas como falhas nos mostram a resposta entre o contato de dois corpos litológicos diferentes que estão separados por esta falha e não a resposta da falha em si. Isto devido à resposta observada ser de no máximo 50 centímetros de profundidade.

O rigoroso acompanhamento do tratamento e do processamento dos dados levou a uma maior confiabilidade nos produtos gerados, a se conhecer a natureza dos dados e a se criar um método muito mais eficaz para a posterior interpretação geológica dos mapas geofísicos.

## AGRADECIMENTOS

Aos alunos Bruno Velasco, Italino Barbosa, Leandro Duarte, Luciano Teixeira, Ricardo Moraes e Thiago Silva.

Aos Professores Augusto Pires, Roberto de Moraes, Claudinei Gouveia e Adalene Silva, pela orientação.

À Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG, pela cessão e permissão do uso dos dados dos levantamentos aerogeofísicos.