



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE DADOS AEROMAGNÉTICOS
PARA ESTUDO DE ESTRUTURAS DO GRUPO
BARREIRAS E EMBASAMENTO CRISTALINO,
ENTRE OS MUNICÍPIOS DE NOVA VIÇOSA E
ITAMARAJÚ, EXTREMO SUL DO ESTADO DA
BAHIA, BRASIL.

IDNEY CAVALCANTI DA SILVA

SALVADOR – BAHIA

MARÇO – 2007

Utilização de dados Aeromagnéticos para estudo de Estruturas do Grupo Barreiras e Embasamento Cristalino, entre os municípios de Nova Viçosa e Itamarajú, Extremo Sul do estado da Bahia, Brasil.

por

IDNEY CAVALCANTI DA SILVA

ORIENTADOR

LUIZ CÉSAR CORRÊA GOMES

CEFET-BA - UFBA

CO-ORIENTADOR

IVES ANTONIO DE ALMEIDA GARRIDO

CBPM

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

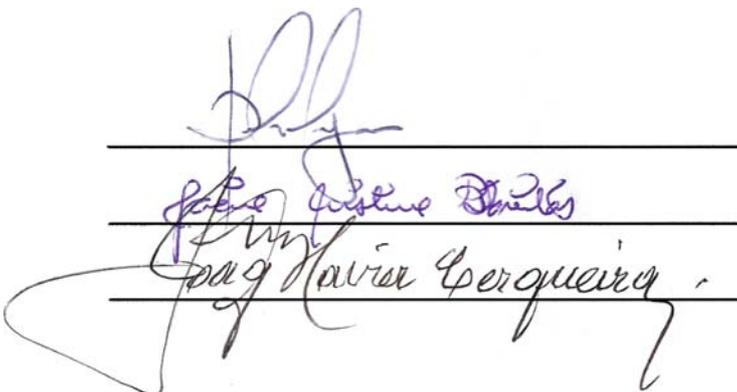
Comissão Examinadora

Dr. Luiz César Corrêa Gomes - Orientador

Dra. Jacira Cristina Batista de Freitas

MC. Joaquim Xavier Cerqueira Neto

Data da aprovação: 02/03/2007



Three handwritten signatures in blue ink are written over three horizontal lines. The first signature is the most stylized, the second is more legible, and the third is also stylized.

Dedicatória
Dedico este trabalho aos meus pais,
Sulamita e Lourival.

RESUMO

A utilização do método aeromagnético serviu como importante ferramenta na identificação da direção dos principais lineamentos estruturais numa extensa área coberta pelo Grupo Barreiras no extremo Sul do Estado da Bahia. A área está localizada entre os municípios de Itamarajú e Nova Viçosa e pertence a Faixa de Dobramento Araçuaí.

As rochas cristalinas que ocupam a região apresentam-se bastante deformadas e cisalhadas, porém cerca de 75% da área está coberta pelo Grupo Barreiras, que se apresenta com pouca informação estrutural devido ao material sedimentar, e muitas vezes inconsolidado, do qual é composto.

Fazendo uma combinação de dados obtidos a partir de mapas de contorno do campo magnético total (CMT) e de primeira derivada vertical (PDV) e os dados estruturais contidos em imagens de satélite do relevo (ISR), em mapa geológico da região e em dados de estruturas coletados no campo, foi possível identificar cinco domínios magnéticos e quatro padrões de lineamentos estruturais.

Dos cinco domínios magnéticos, dois deles se destacaram com diferentes valores de CMT, tais domínios podem estar relacionados com a variação da espessura do Barreiras e/ou litotipos do embasamento aflorante e subjacente.

A interpretação estrutural mostrou dois lineamentos principais com direções N50° e N120° e dois secundários com direções N00° e N90°. Esses padrões estão presentes também em áreas próximas a da pesquisa, o que pode confirmar a importante presença de zonas cisalhantes na região orientadas predominantemente segundo estas direções.

ABSTRACT

In this work the aeromagnetic method was used as an important tool to identify structural lineament orientation patterns in an area partially covered by tertiary Barreiras sedimentary Group on the southmost part of the Bahia state, Brazil. The area is located between Itamaraju and Nova Viçosa cities where Neoproterozoic terrains of the Araçuaí Fold Belt domain the tectonic scenario.

The rocks as can be seeing that or outcrops of the studies area were deformed for brittle and ductile polyphasic tectonic events and about 75% of the exposed area are covered by Barreiras Group, which is represented by weathered and soft sedimentary material that make difficult the identification of structure.

Combining different kinds of data we obtained from maps of total magnetic field (TMF) contours and first vertical derivate (FVD) and structure data from satellite images of relief (SIR) and geologic maps and field make possible separate five magnetic domains and four patterns of structural lineaments.

Two magnetic domains were detached due to different TMF values, this values could be related to cover thickness and/or basement mineralogical composition variations.

The structural interpretation shows two main lineament patterns with N50° and N120° directions and two secondary ones having N00° and N90° directions. All those patterns are present in surrounding exposed areas and reveal the presence of important regional shear zones following these directions.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-ESTRUTURAIS .	5
CAPÍTULO 2 OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo Geral	7
2.2 Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1 Levantamento Bibliográfico	8
3.1.1 Geologia Aplicada	8
3.1.2 Geofísica Aplicada	8
3.2 Aquisição dos Dados e Tratamento Preliminar	8
3.2.1 Imagens de Satélite do Relevo (ISR)	9
3.2.2 Dados Aeromagnéticos	9
3.2.3 Mapa Geológico	9
3.2.4 Dados de Campo	10
3.3 Tratamento de Dados	10
3.4 Interpretação dos Dados	10
CAPÍTULO 4 TEORIA DOS MÉTODOS APLICADOS	16
4.1 Imagens de Satélite do Relevo (ISR)	16
4.2 Método Magnético	16
4.2.1 Elementos do Campo Geomagnético	17
4.2.2 Anomalias do Campo Magnético Total	18
4.2.3 Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total	21
4.3 Geologia Estrutural	23

CAPÍTULO 5	RESULTADOS	25
5.1	Resultados da Interpretação da Imagem de Satélite	25
5.2	Resultados da Interpretação de Dados Geofísicos	26
5.3	Resultados da Interpretação de Dados Geológicos	29
5.3.1	Interpretação de Dados do Mapa Geológico	29
5.3.2	Interpretação dos Dados de Campo	29
CAPÍTULO 6	DISCUSSÃO	32
CAPÍTULO 7	CONCLUSÕES	35
Agradecimentos		36
APÊNDICE A		37
Referências Bibliográficas		39

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Mapa da área de estudo, com principais rodovias e localização dos afloramentos visitados.	3
2	Mapa Geológico da Área com estruturas. Copiado e modificado do Mapa Geológico do Extremo Sul da Bahia do Projeto Extremo Sul da Bahia - CBPM/CPRM (Sampaio et al.,2002).	4
3.1	Imagem de Satélite do Relevo obtida pelo projeto SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i> - http://srtm.usgs.gov/ - NASA, NIMA, DLR e ASI), tirada com o Satélite Landsat 7 no período de 2000/2001 e disponível gratuitamente pelo site - http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/ba/index.htm - (Miranda, 2005). As imagens pertencem a EMBRAPA Monitoramento por Satélite. . .	12
3.2	Mapa em mosaico do Campo Magnético Total (CMT). Obtido a partir do Mapa de Contorno do Campo Magnético Total do Projeto de Levantamento Aerogeofísico das Faixas de Senhor do Bonfim e Itagimirim/Medeiros Neto (Folhas SE.24-V-D-II e SE.24-V-D-V) e pertencentes a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM.	13
3.3	Mapa em mosaico da Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total. Obtido a partir do Mapa de Contorno da Primeira Derivada Vertical do Campo Magnético Total do Projeto de Levantamento Aerogeofísico das Faixas de Senhor do Bonfim e Itagimirim/Medeiros Neto (Folhas SE.24-V-D-II e SE.24-V-D-V) e pertencentes a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM.	14
3.4	Mapa Estrutural da Área. Modificado e simplificado de Sampaio et al. (2002).	15
4.1	Os componentes F_x , F_y e F_z do vetor geomagnético \vec{F} . \vec{H} é o vetor resultante dos componentes horizontais F_x e F_y . A inclinação magnética \mathbf{I} é o ângulo formado entre \vec{F} e \vec{H} e a declinação magnética \mathbf{D} é o ângulo formado entre F_x e \vec{H}	17
4.2	Representação vetorial da Anomalia de Campo Total. O Campo Magnético Total é representado pela soma vetorial do campo regional \vec{F} e o campo anômalo $\Delta\vec{F}$. A anomalia de Campo Magnético Total $\Delta\vec{T}$ é igual a $ \vec{T} - \vec{F} $, uma boa aproximação dela é o valor de $\hat{F} \cdot \Delta\vec{F}$ se $ \vec{F} \gg \Delta\vec{F} $. Onde \hat{F} é o vetor unitário na direção de \vec{F}	18
4.3	Mapa mundial com contornos da Inclinação magnética e sua variação anual (Telford et al., 1990).	21

4.4	Imagens sintéticas, mostrando em (a) o mapa de campo magnético total (CMT) e em (b) o mapa de primeira derivada vertical (PDV), ambos para a mesma anomalia. O mapa da primeira derivada vertical ressalta os contrastes magnéticos ajudando na interpretação.	23
5.1	Rosáceas com frequência direcional dos lineamentos estruturais obtidos a partir da ISR, em (a) a por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.	26
5.2	Mapa interpretativo da área com os lineamentos estruturais obtidos a partir da imagem de satélite do relevo (Miranda, 2005).	27
5.3	Rosáceas com frequência direcional dos lineamentos magnéticos obtidos a partir do mapa de PDV, em (a) por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.	29
5.4	Mapa interpretativo da Área com os lineamentos magnéticos em preto, obtidos a partir do mapa de PDV. Os contornos em vermelho identificam os diferentes domínios magnéticos.	30
5.5	Rosáceas com frequência direcional dos lineamentos estruturais obtidos a partir do mapa estrutural, em (a) por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.	31
5.6	Estereogramas de grandes círculos e densidade polar e rosácea com frequência de direção dos planos de falhas e fraturas, obtidos a partir dos dados de campo.	31

INTRODUÇÃO

Em áreas que apresentam poucos afloramentos com dados estruturais, a aplicação do método magnético é bastante útil, pois anomalias magnéticas oferecem informações, tanto de corpos geológicos da superfície como de sub-superfície, auxiliando a geologia na identificação de importantes padrões estruturais.

No extremo Sul do estado da Bahia as coberturas sedimentares do Grupo Barreiras ocupam uma grande área, seus sedimentos, muitas vezes friáveis e inconsolidados, dificultam a identificação e o detalhamento de estruturas geológicas.

A área de pesquisa está situada no extremo sul do Estado da Bahia (Fig. 1) e compreende parte dos Municípios de Itamarajú, Veredas, Teixeira de Freitas, Caravelas e Nova Viçosa. Geologicamente a área está no contexto da Faixa de Dobramento Araçuaí e é formada por embasamento composto por granitóides pós-tectônicos de idade Paleozóica, granitóides sin a tardi-tectônicos e gnaisses kinzigíticos do Complexo Jequitinhonha, ambos de idade Neoproterozóica. Cerca de 75% da área está coberta por sedimentos e material deposicional do Grupo Barreiras e de pequenas porções de depósitos e terraços aluviais, ambos de idade Cenozóica. O mapa geológico da área é visto na figura 2.

Objetivando identificar os principais lineamentos estruturais do local foram utilizados: imagens de satélite do relevo (ISR) da área, pertencentes ao Projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - <http://srtm.usgs.gov/> - NASA, NIMA, DRL e ASI), cedidas pela EM-BRAPA no site <http://www.relevobr.cnpemembrapa.br> (Miranda, 2005); Mapas de Campo Magnético Total (CMT) e Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total, cedidos pela CBPM do Projeto de Levantamento Aerogeofísico da Faixa de Itagimirim / Medeiros Neto; Mapa Geológico do Extremo Sul do Estado da Bahia (Sampaio et al., 2002 e Sampaio et al., 2004) e os dados coletados em campo, do Projeto Neotectônica Litorânea do SSE do Estado da Bahia (Corrêa-Gomes, 2003).

Na primeira etapa do trabalho foram traçados os lineamentos estruturais utilizando ISR na escala 1:50.000. Depois foram utilizados os mapas aeromagnéticos de CMT e de PDV na escala 1:100.000, sendo que o mapa de CMT foi utilizado para contornar os principais domínios magnéticos e o mapa de PDV para traçar os lineamentos magnéticos.

Em seguida foram obtidos os lineamentos estruturais do Mapa Geológico do Extremo Sul da Bahia na escala 1:100.000 (Sampaio et al., 2002). Por fim foram obtidos dados estruturais coletados em 8 afloramentos da área de pesquisa.

Para os lineamentos estruturais tirados das ISR, do mapa de PDV e do mapa Geológico, foram feitos tratamentos estatísticos utilizando o software *Stereonet*[®] (Duyster, 2000), os tratamentos levaram em conta a frequência e o comprimento das linhas, para cada intervalo de 10° de direção. No mapa de CMT foram identificados 5 domínios magnéticos.

Para complementar o trabalho e dar um maior embasamento aos dados geofísicos foi feita uma análise de dados estruturais coletados em campo. Os dados também foram tratados no *Stereonet*[®], levando em conta a frequência de medidas para cada intervalo de 10° de direção e depois foram feitos diagramas de densidade polar e grandes círculos que mostram os mergulhos dos planos.

No geral os padrões mais marcantes foram NW-SE, NE-SW, N-S e E-W, tais padrões já foram relatados em outros trabalhos referentes ao Extremo Sul do Estado, como os de Lima (2002), Corrêa-Gomes (2003) e Sampaio et al. (2004).

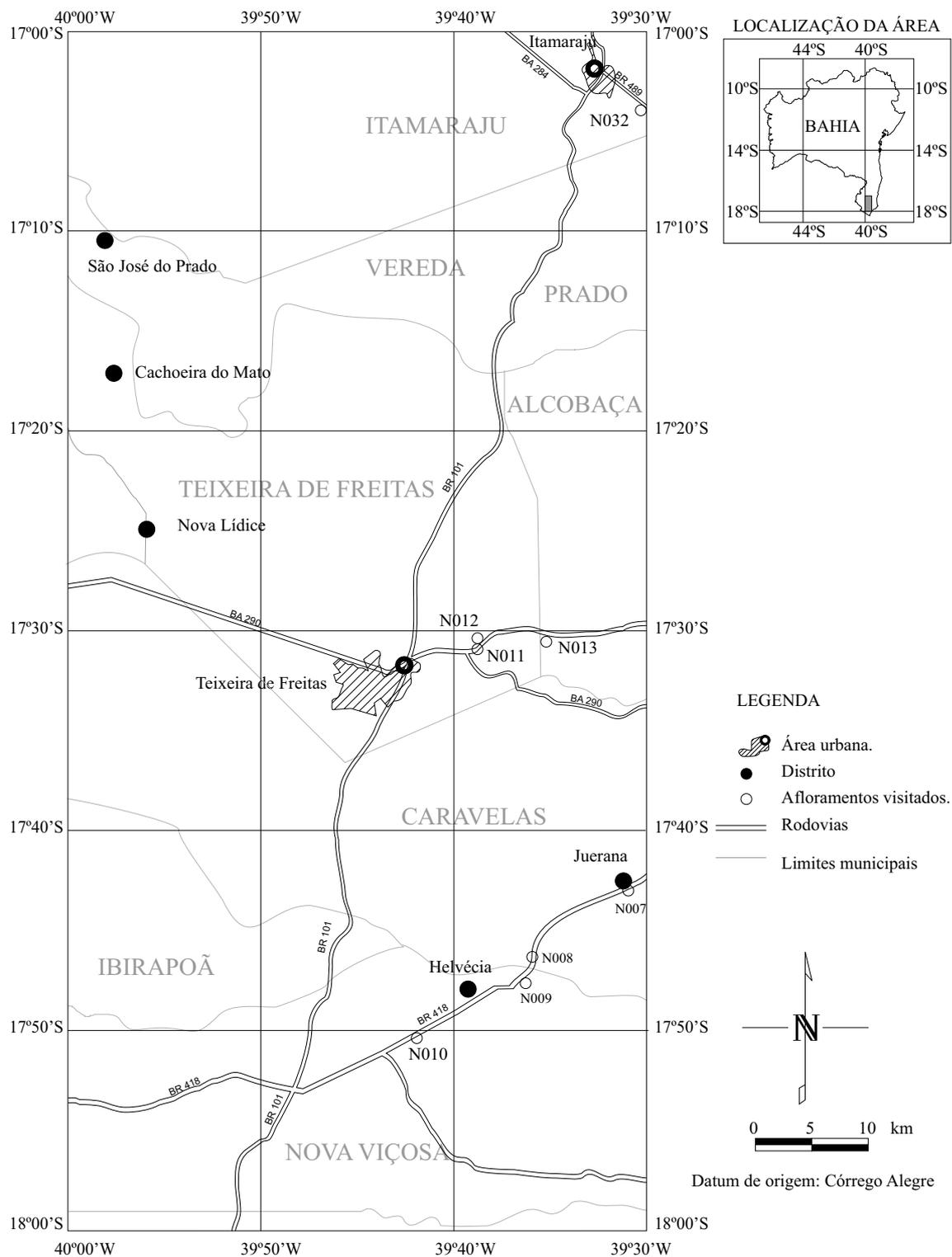


Figura 1: Mapa da área de estudo, com principais rodovias e localização dos afloramentos visitados.

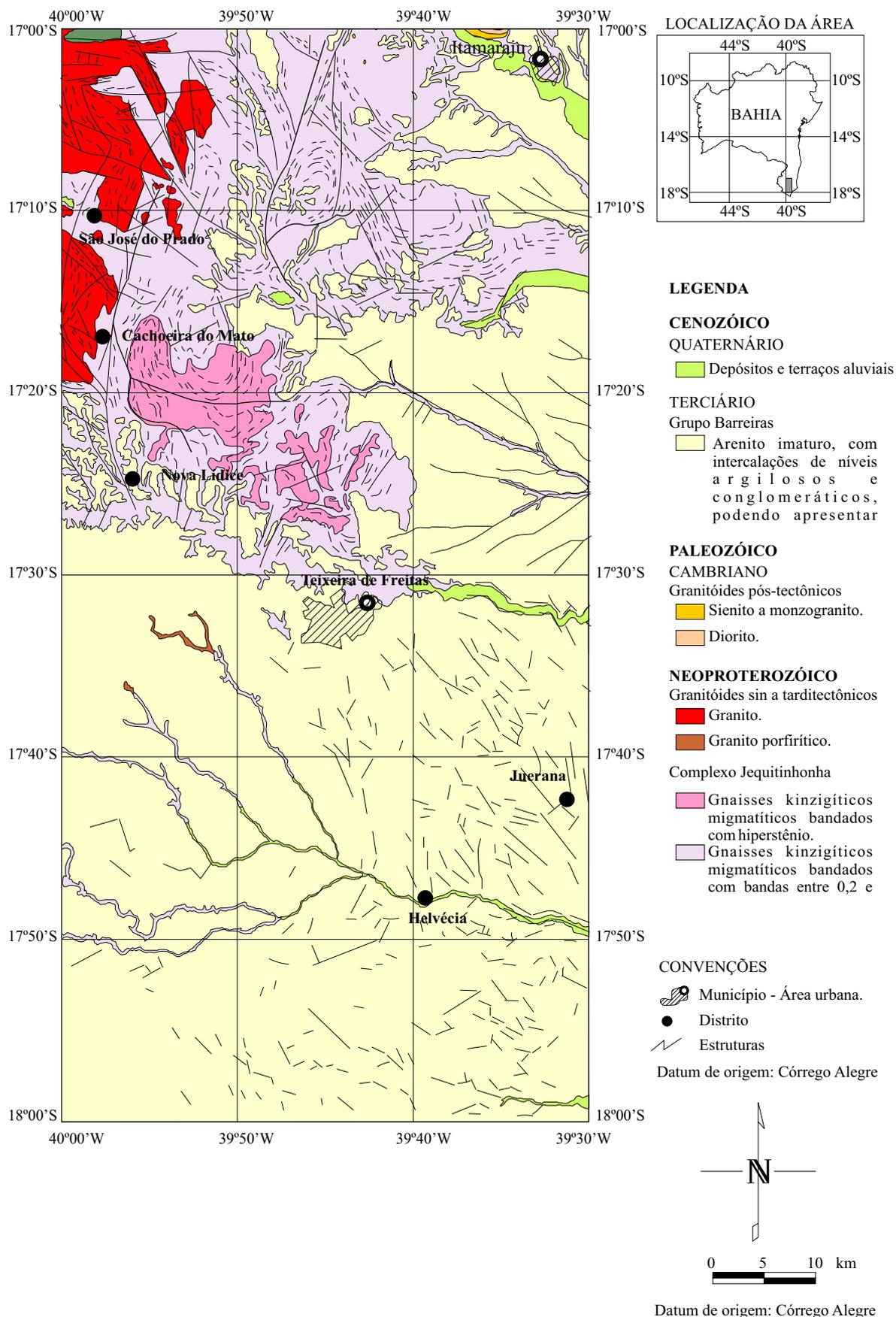


Figura 2: Mapa Geológico da Área com estruturas. Copiado e modificado do Mapa Geológico do Extremo Sul da Bahia do Projeto Extremo Sul da Bahia - CBPM/CPRM (Sampaio et al.,2002).

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-ESTRUTURAIS

A área de estudo está localizada no Extremo Sul do estado da Bahia (Fig. 1), situada entre as latitudes 17°00'S e 18°00'S e as longitudes 39°30'W e 40°00'W, ocupando uma área de aproximadamente 5.500 km^2 , entre os municípios de Itamarajú, Vereda, Prado, Teixeira de Freitas, Alcobaça, Caravelas, Ibirapoã e Nova Viçosa. Esta área faz parte do segmento nordeste da Faixa de Dobrameto Araçuaí (Almeida, 1977).

A Faixa Araçuaí é um cinturão móvel de idade Neoproterozóica que margeia as bordas leste e sudeste do Cráton do São Francisco (Pedrosa-Soares et al., 2000).

As unidades litoestratigráficas que afloram na região apresentam idades variadas: o embasamento é composto por rochas metamórficas e metasedimentares do Neoproterozóico e Paleozóico, a cobertura sedimentar é basicamente composta pelo Grupo Cenozóico Barreiras, que ocupa cerca de 75% da área, e por depósitos e terraços aluvionais.

As rochas de idade Neoproterozóica são compostas por gnaisses kinzigíticos migmatíticos bandados sem ou com hiperstênio do Complexo Jequitinhonha e granitóides sin a tardi-tectônicos (granito e granito porfirítico). As rochas de idade Paleozóica são os granitóides pós-tectônicos (sienitos a monzogranitos e dioritos).

As coberturas sedimentares do Cenozóico são compostas por arenitos imaturos, com intercalações de níveis argilosos e conglomeráticos, podendo apresentar níveis mais ricos em argila, em pequenas proporções ocorrem na área depósitos e terraços aluvionais.

Em termos de estruturas, a área de estudo pode ser dividida em duas partes: (i) a parte norte, com mais ocorrência de rochas do embasamento aflorando, apresenta estruturas dobradas por mais de uma fase tectônica e um padrão complexo de lineamentos estruturais rúpteis, porém é possível notar a presença de zonas de falhas ortogonais entre si

com orientações predominantes N-S, E-W, SE-NW e NE-SW, essas orientações são próximas aquelas encontradas nas Zonas de Cisalhamento de Itabuna e Itajú do Colônia e de Potiraguá (Corrêa-Gomes et al., 2005) e na parte litorânea do Extremo Sul do estado (Lima, 2002 e Corrêa-Gomes, 2003);

(ii) a parte sul que é coberta totalmente pelos sedimentos do Grupo Barreiras, sendo assim uma área muito escassa em estruturas visíveis nos raros afloramentos ali encontrados, que se apresentam em sua grande parte erodidos e intemperizados.

Porém podem ser observadas evidências da atuação tectônica nos sedimentos do Grupo Barreiras, já constatadas por vários autores, pelas observações diretas: das falhas que afetam os sedimentos; dos padrões de drenagem paralelos e sub-paralelos; da assimetria das bacias hidrográficas e dos rios principais com vales retilíneos, escarpados e com talwegues chatos, preenchidos por aluviões, indicativos de estruturas de abatimento do tipo graben (Lima, 2002 e Sampaio et al., 2004).

Na figura 2 é mostrado o Mapa Geológico da área com as estruturas, modificado e simplificado do mapa geológico com estruturas, do Projeto Extremo Sul da Bahia - Programas de Levantamentos Geológicos Básicos de 2002 feito em conjunto pela CBPM e CPRM.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desse estudo foi identificar os principais padrões estruturais da área, utilizando o método aeromagnético e analisar a correlação dos lineamentos e domínios magnéticos com as feições identificadas nas Imagens de Satélite do Relevo (ISR), no Mapa Geológico e nos dados de campo, definindo uma técnica muito útil nos estudos geológico-estruturais regionais.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa monografia são apresentar os métodos e processos utilizados no trabalho, os dados e informações, bem como os resultados alcançados.

A partir da interpretação qualitativa dos mapas aeromagnéticos de Campo Magnético Total (CMT) e de Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total, identificar os diferentes domínios de anomalia magnética e traçar os lineamentos magnéticos.

Por fim identificar e interpretar as principais direções dos lineamentos magnéticos e fazer uma associação com os dados coletados em campo e as interpretações feitas a partir da ISR e do mapa geológico da área.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Levantamento Bibliográfico

Na primeira fase desta monografia foram feitas diversas consultas bibliográficas de importantes trabalhos sobre o assunto abordado e levantamentos geológicos realizados na região do extremo sul do estado. Como pode ser visto a seguir.

3.1.1 Geologia Aplicada

Foram utilizados mapas geológicos da região com textos explicativos (Barbosa & Dominguez, 1996; Sampaio et al., 2002 e Sampaio et al., 2004), artigos que tratam de dados estruturais referentes a área de estudo ou com o mesmo contexto (Lima, 2002; Corrêa-Gomes, 2003 e Corrêa-Gomes et al., 2005) e livros de geologia estrutural e geotectônica como o de Loczy & Ladeira (1976).

3.1.2 Geofísica Aplicada

Pouco material ilustrando técnicas interpretativas para mapas aeromagnéticos foi encontrado, a pesquisa foi baseada em livros de geofísica aplicada como o de Telford et al. (1990) e artigos contendo aplicação de métodos aeromagnéticos para mapeamento de estruturas como os de Maas et al. (2003), Nogueira et al. (2004) e Araújo et al.(2006).

3.2 Aquisição dos Dados e Tratamento Preliminar

A maior parte das informações e mapas contidos nesta monografia foram obtidas por meio de consulta de material já existente, destes foram feitos trabalhos interpretativos e utilizados

dados de campo, como será mostrado a seguir.

3.2.1 Imagens de Satélite do Relevo (ISR)

Foram utilizadas imagens de satélite do relevo da área (SRTM - EMBRAPA) (Fig. 3.1), tiradas do portal da EMBRAPA na Internet (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>). Ao todo foram utilizadas 8 folhas referentes a área de estudo na escala 1:50.000. Depois foram traçados os lineamentos estruturais a partir do contorno de vales e montanhas e das discontinuidades lineares do relevo, que são potenciais indicadores de traços estruturais rúpteis.

3.2.2 Dados Aeromagnéticos

Os dados aeromagnéticos foram obtidos na forma de mapas de Campo Magnético Total (CMT) e Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total, ambos na escala de 1:100.000, junto à Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e fazem parte do Projeto de Levantamento Aerogeofísico da Faixa de Itagimirim / Medeiros Neto. Os Mapas são referentes a uma área de quase 5.500 km^2 , localizada entre as latitudes $17^{\circ}00'S$ e $18^{\circ}00'S$ e as longitudes $39^{\circ}30'W$ e $40^{\circ}00'W$ no Estado da Bahia. Na figura 3.2 é mostrado o mapa de CMT e na figura 3.3 o mapa de PDV.

Foram feitas, em ambos os mapas interpretações qualitativas, que visam indicar os domínios magnéticos existentes e traçar os lineamentos magnéticos que são potenciais indicadores de estruturas e/ou variação litológica. Sendo que o Mapa da CMT serviu para identificar os diferentes domínios magnéticos e o mapa de PDV para traçar os lineamentos magnéticos, que aparecem mais nitidamente neste mapa.

3.2.3 Mapa Geológico

Para estabelecer uma correlação com os dados geológicos de superfície foram compilados os lineamentos estruturais encontrados no mapa geológico da área (Fig. 2), modificado e simplificado do Mapa Geológico do Extremo Sul da Bahia (Sampaio et al., 2002), e feito um mapa estrutural da área (Fig. 3.4).

3.2.4 Dados de Campo

Para dar um maior embasamento aos dados geofísicos e avaliar os dados obtidos pela ISR e pelo mapa geológico foram utilizados dados de campo, coletados em 8 afloramentos da área de pesquisa (Fig. 1). Estes dados fazem parte do Projeto Neotectônica Litorânea do SSE do Estado da Bahia (Corrêa-Gomes, 2003) que foi financiado pelo CNPq.

Os dados coletados são medidas de direção e mergulho dos planos das estruturas rúpteis (falhas e fraturas) e foram tirados com o auxílio de bússola.

3.3 Tratamento de Dados

Todos os dados obtidos foram tratados utilizando o software *Stereonet*[®] (Duyster, 2000) para produção de rosáceas de direção (*strike*), que indicam o valor das medidas para cada intervalo de 10° de azimute, foram considerados 36 intervalos.

Para cada mapa ou ISR obtido, foram contados a quantidade de lineamentos e medido o somatório do comprimento para cada intervalo de medida. Sendo produzidas duas rosáceas, uma de quantidade e outra de comprimento, para cada dado específico obtido (ISR, PDV e Mapa Geológico).

O Mapa de CMT serviu para identificar os diferentes domínios magnéticos da área. Foram avaliados os valores de campo magnético total de cada domínio e os contrastes entre cada um.

Quanto aos dados de campo, foram produzidas além das rosáceas de direção por quantidade de medidas, os diagramas de grandes círculos e densidade polar, para melhor ilustrar a disposição dos planos em 3 dimensões, todos estes gráficos foram feitos também com o auxílio do *Stereonet*[®].

3.4 Interpretação dos Dados

Com o auxílio das rosáceas de direção, foram obtidas as direções preferenciais de cada dado (ISR, PDV, mapa geológico e dados de campo).

Os dados obtidos a partir da ISR mostram o resultado da tectônica no relevo da área. Os dados aeromagnéticos mostram informações dos contrastes magnéticos gerados pela geologia e tectônica na superfície e em sub-superfície, podendo servir para estabelecer relação com os litotipos presentes no embasamento ou a profundidade dos pacotes sedimentares.

Os dados do mapa geológico mostram resultados superficiais, porém mais significativos que as imagens de satélite, sendo que foram obtidos em superfície nos levantamentos geológicos e servem para dar um melhor embasamento às interpretações geofísicas.

A exemplo dos dados obtidos no mapa geológico, os dados de campo tem grande importância, pois foram coletados em afloramentos e são os únicos neste trabalho que se referem exclusivamente a estruturas rúpteis, isso possibilita interpretações tanto das direções preferenciais (*strike*) destes planos, como das direções do mergulho dos planos (*dip*). Porém a quantidade de afloramentos e a distribuição geográfica dos mesmos (Fig. 1), dificultam a análise da área como um todo.

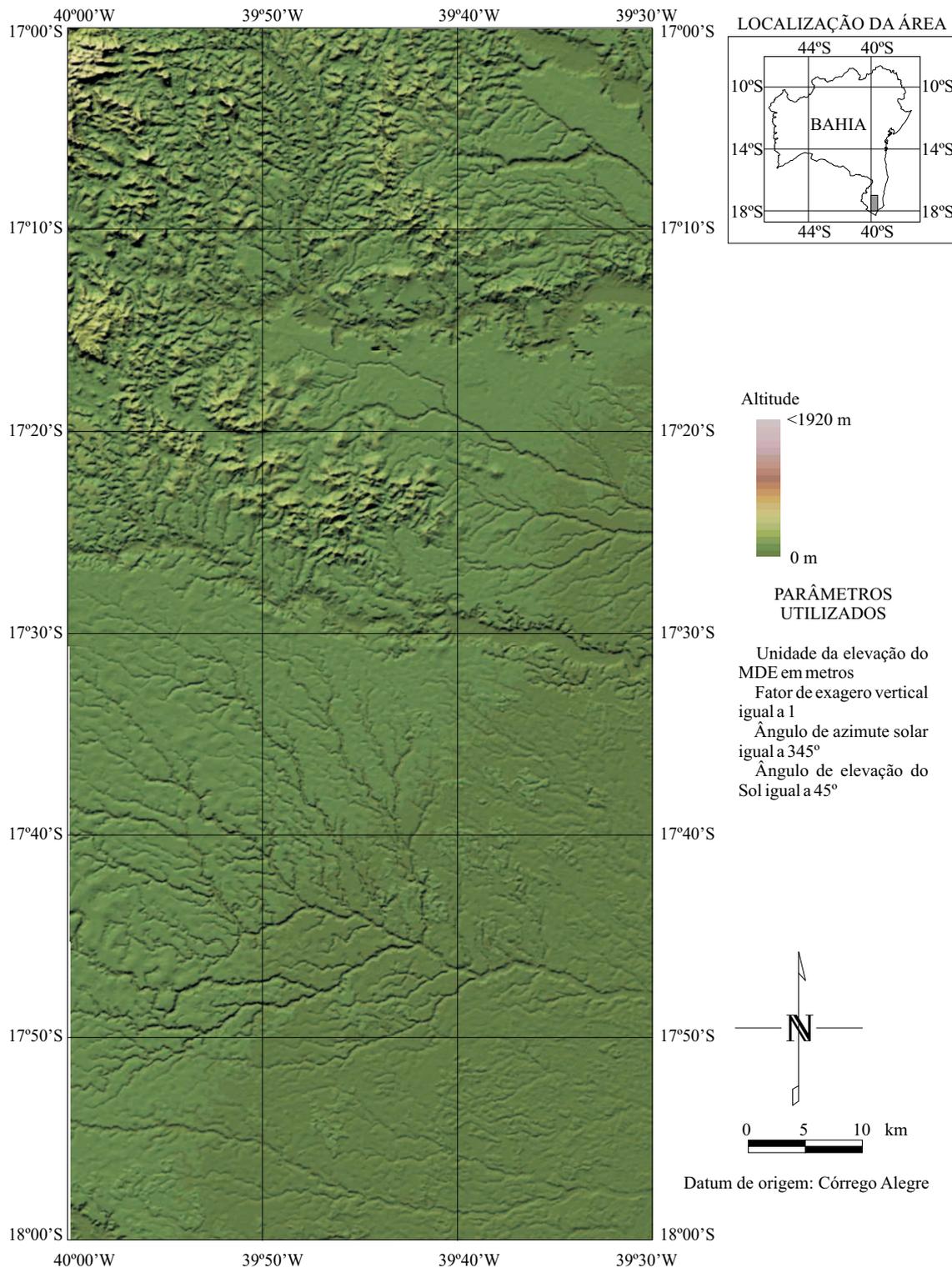


Figura 3.1: Imagem de Satélite do Relevo obtida pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - <http://srtm.usgs.gov/> - NASA, NIMA, DLR e ASI), tirada com o Satélite Landsat 7 no período de 2000/2001 e disponível gratuitamente pelo site - <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/ba/index.htm> - (Miranda, 2005). As imagens pertencem a EMBRAPA Monitoramento por Satélite.

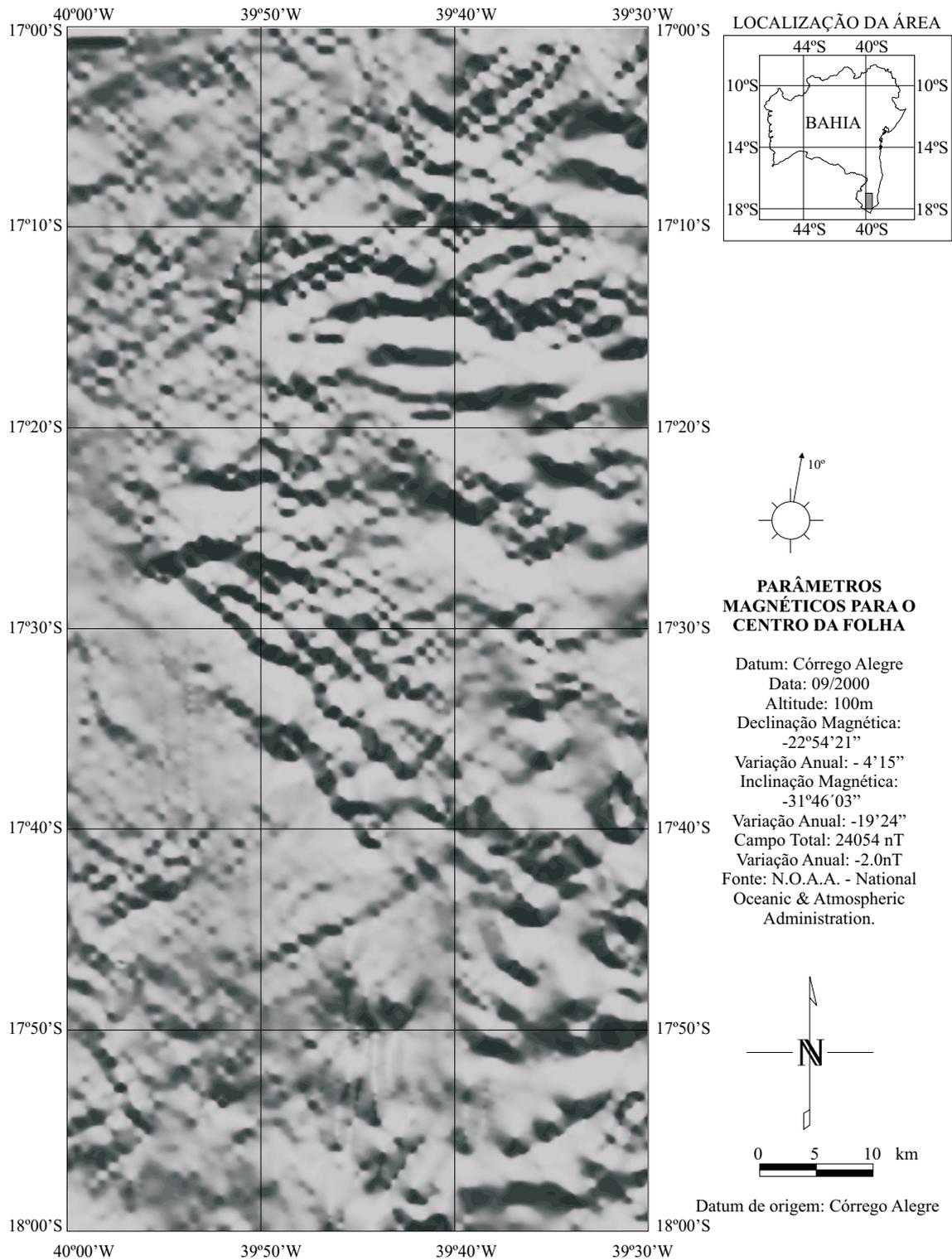


Figura 3.2: Mapa em mosaico do Campo Magnético Total (CMT). Obtido a partir do Mapa de Contorno do Campo Magnético Total do Projeto de Levantamento Aerogeofísico das Faixas de Senhor do Bonfim e Itagimirim/Medeiros Neto (Folhas SE.24-V-D-II e SE.24-V-D-V) e pertencentes a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM.

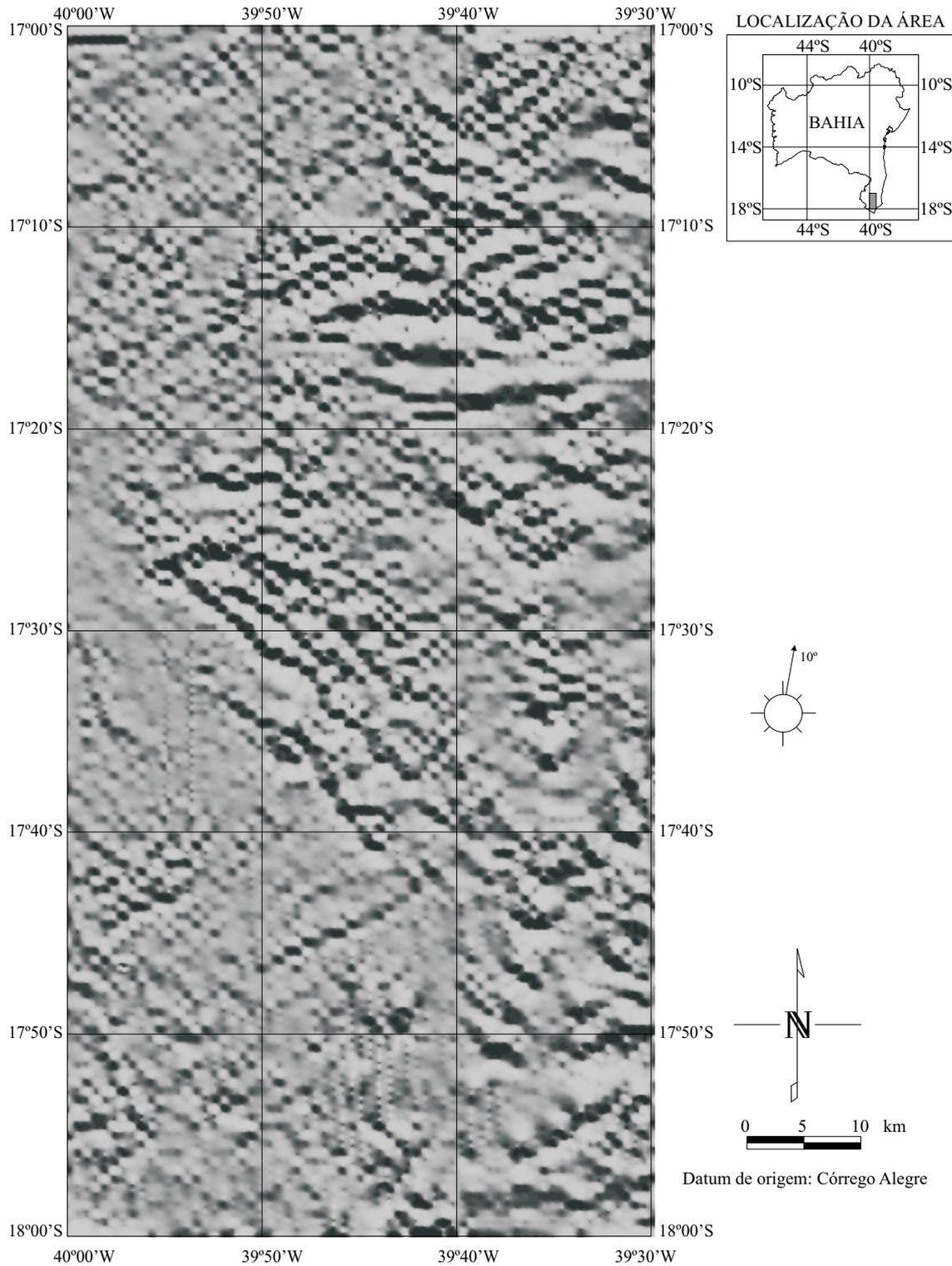


Figura 3.3: Mapa em mosaico da Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total. Obtido a partir do Mapa de Contorno da Primeira Derivada Vertical do Campo Magnético Total do Projeto de Levantamento Aerogeofísico das Faixas de Senhor do Bonfim e Itagimirim/Medeiros Neto (Folhas SE.24-V-D-II e SE.24-V-D-V) e pertencentes a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM.

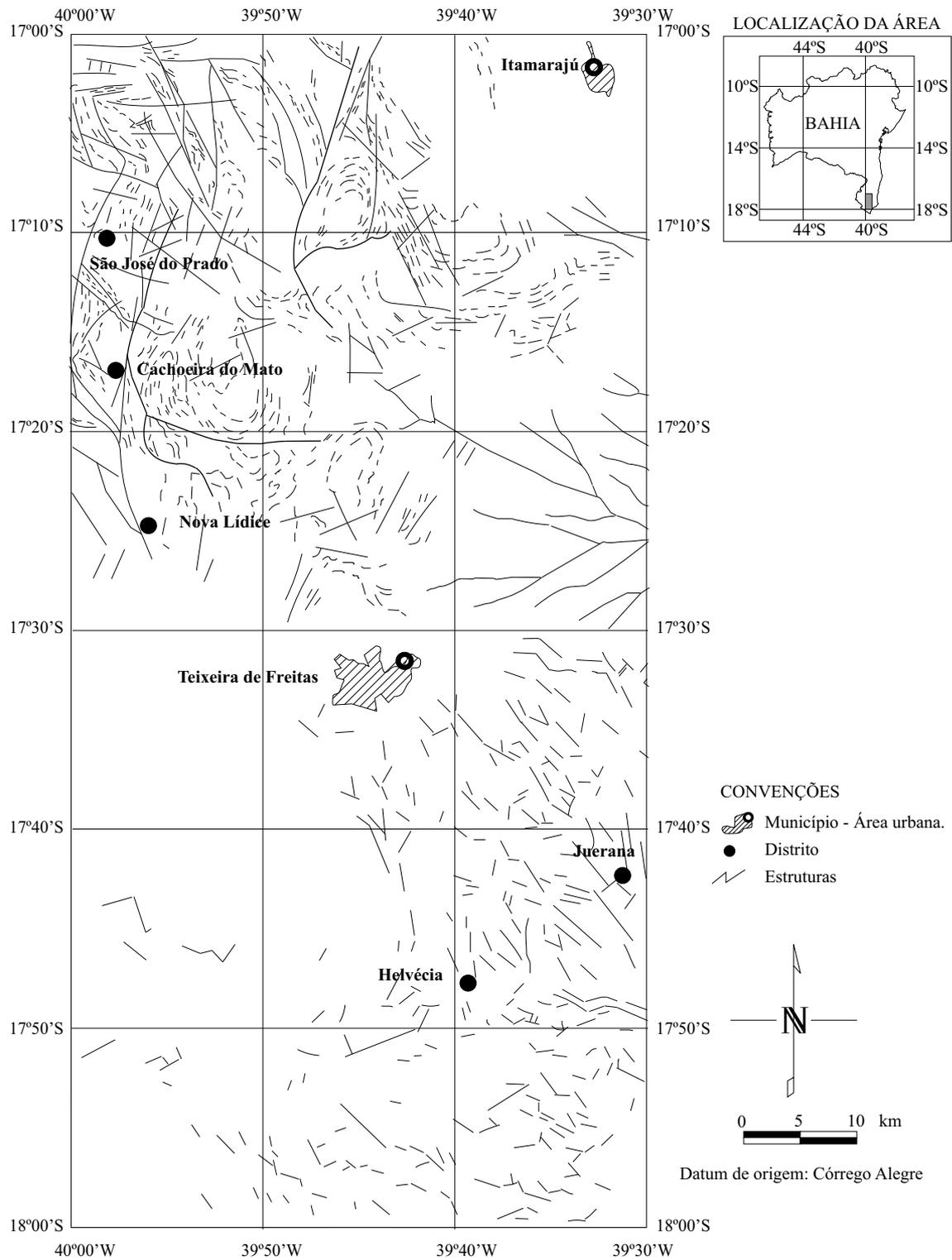


Figura 3.4: Mapa Estrutural da Área. Modificado e simplificado de Sampaio et al. (2002).

CAPÍTULO 4

TEORIA DOS MÉTODOS APLICADOS

4.1 Imagens de Satélite do Relevo (ISR)

A partir de imagens de satélite do Relevo (ISR) da área, adquirida no portal da EMBRAPA (Miranda, 2006) , foram traçados os lineamentos de grandes estruturas geomorfológicas, tais como os vales e cristas que puderam ser identificados e descontinuidades lineares do relevo.

O tratamento estatístico realizado para essas estruturas foi feito utilizando duas rosáceas de direção (*strike*), uma referente à quantidade de lineamentos traçados e outra ao somatório do comprimento dos lineamentos traçados para cada intervalo de direção (10° cada).

Em termos estruturais a rosácea que trata da quantidade de medidas tem mais relação com padrões dispersos que se repetem na área, enquanto que a rosácea que trata do somatório do comprimento das medidas está mais relacionada com padrões regionais mais marcantes. No geral em regiões próximas a zonas cisalhantes, os padrões predominantes são os mesmos em ambas as rosáceas.

4.2 Método Magnético

Este método consiste em identificar o campo magnético anômalo gerado pelas diferentes estruturas geológicas na crosta terrestre. Neste trabalho foram utilizados os mapas do Campo Magnético Total (CMT) e de Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total, ambos cedidos pela CBPM do Projeto de Levantamento Aerogeofísico da Faixa Itagimirim/Medeiros Neto.

Os mapas foram interpretados com técnicas de interpretação qualitativa, que são usadas para identificar diferentes domínios magnéticos e contrastes magnéticos gerados por contatos geológicos ou descontinuidades estatigráficas de corpos com características magnéticas

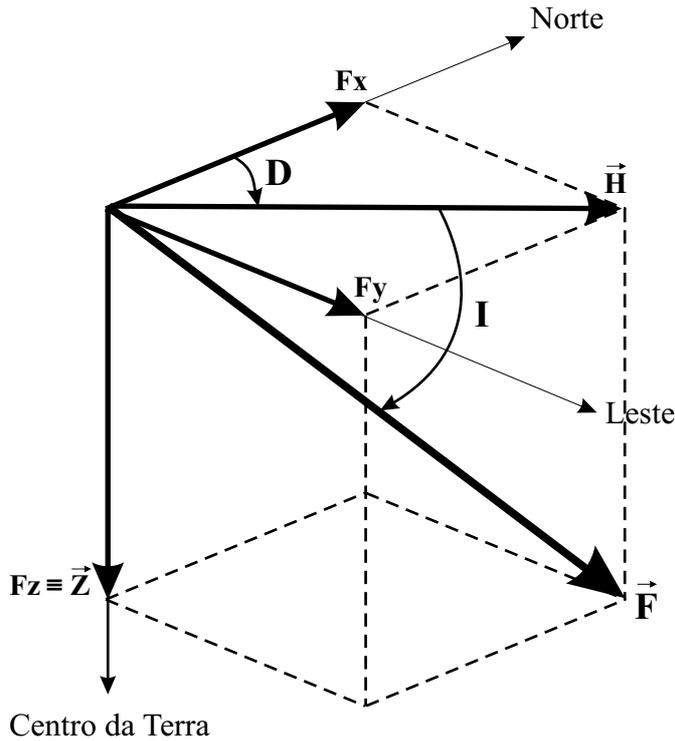


Figura 4.1: Os componentes F_x , F_y e F_z do vetor geomagnético \vec{F} . \vec{H} é o vetor resultante dos componentes horizontais F_x e F_y . A inclinação magnética I é o ângulo formado entre \vec{F} e \vec{H} e a declinação magnética D é o ângulo formado entre F_x e \vec{H} .

distintas.

4.2.1 Elementos do Campo Geomagnético

As medidas de campo magnético total são coletadas através do magnetômetro e estão relacionadas com as medidas do Campo Geomagnético \vec{F} .

O Campo Geomagnético pode ser representado no sistema de coordenadas retangulares como um vetor \vec{F} resultante de três componentes F_x , F_y e F_z ortogonais entre si (Fig. 4.1), sendo comumente expresso em nT (nanotesla, equivalente a $10^{-3}T$). O componente F_x aponta para o norte, o componente F_y aponta para o leste e o componente F_z aponta para o centro da Terra.

A resultante dos componentes F_x e F_y forma o componente horizontal \vec{H} , e F_z é o componente vertical \vec{Z} . O ângulo que a projeção horizontal do vetor \vec{F} , no caso \vec{H} , faz com o Norte (direção da componente F_x) é a declinação magnética e o ângulo que o vetor \vec{F} faz com \vec{H} é a inclinação magnética.

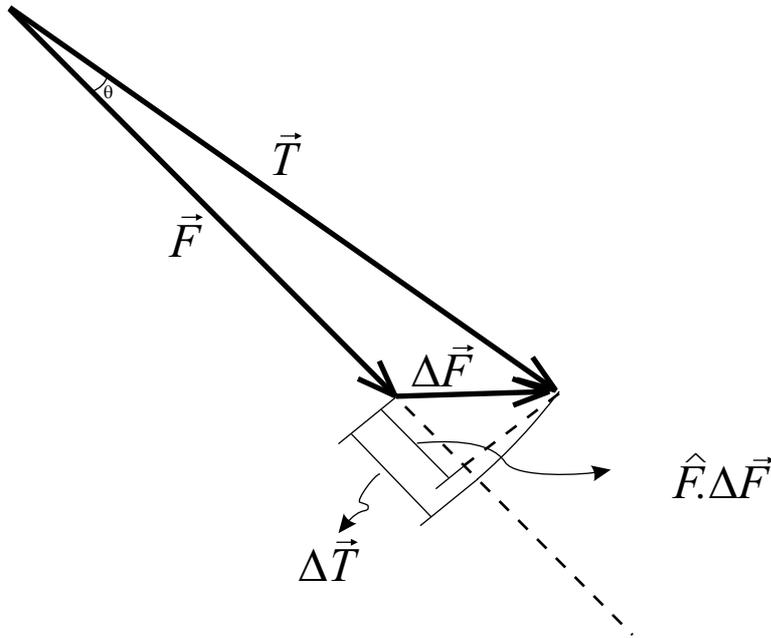


Figura 4.2: Representação vetorial da Anomalia de Campo Total. O Campo Magnético Total é representado pela soma vetorial do campo regional \vec{F} e o campo anômalo $\Delta\vec{F}$. A anomalia de Campo Magnético Total $\Delta\vec{T}$ é igual a $|\vec{T}| - |\vec{F}|$, uma boa aproximação dela é o valor de $\hat{F} \cdot \Delta\vec{F}$ se $|\vec{F}| \gg |\Delta\vec{F}|$. Onde \hat{F} é o vetor unitário na direção de \vec{F} .

4.2.2 Anomalias do Campo Magnético Total

Toda formação geológica gera um campo magnético em determinado ponto, por menor que seja, esse campo magnético gerado pode ser chamado de campo magnético anômalo, aqui designado por $\Delta\vec{F}$. O vetor de campo anômalo $\Delta\vec{F}$ somado ao regional \vec{F} gera o vetor de Campo Total \vec{T} (equação 4.1 e Fig. 3.2).

$$\vec{T} = \vec{F} + \Delta\vec{F} \quad (4.1)$$

A anomalia de campo total é o comprimento $|\vec{T}| - |\vec{F}|$, representado por $\Delta\vec{T}$. Uma boa aproximação de $\Delta\vec{T}$ é a projeção de $\Delta\vec{F}$ em \vec{F} , ou seja, $\hat{F} \cdot \Delta\vec{F}$, esta é uma condição comumente usada em estudos da crosta que se referem a anomalia de campo magnético. Isto ocorre pois $|\vec{F}| \gg |\Delta\vec{F}|$ como pode ser visto na figura 4.2 e comprovado na equação 4.4.

Como neste caso o campo anômalo $\Delta\vec{F}$ é muito menor que \vec{F} ,

$$\Delta \vec{T} = |\vec{T}| - |\vec{F}| = |\vec{F} + \Delta \vec{F}| - |\vec{F}| = (\vec{F} \cdot \vec{F} + 2\vec{F} \cdot \Delta \vec{F} + \Delta \vec{F} \cdot \Delta \vec{F})^{\frac{1}{2}} - |\vec{F}|, \quad (4.2)$$

se $\Delta \vec{F} \ll \vec{F}$, logo $\Delta \vec{F} \cdot \Delta \vec{F}$ pode ser desprezado na equação 4.2, então,

$$\Delta \vec{T} \approx (\vec{F} \cdot \vec{F} + 2\vec{F} \cdot \Delta \vec{F})^{\frac{1}{2}} - |\vec{F}| \quad (4.3)$$

Supondo que se $\vec{F} \cdot \Delta \vec{F} \ll \vec{F} \cdot \vec{F}$, é possível aplicar a expansão de Taylor do tipo

$\sqrt{x^2 + a^2} \approx x + \left(\frac{a^2}{2x}\right)$, logo:

$$\Delta \vec{T} \approx (\vec{F} \cdot \vec{F})^{\frac{1}{2}} + \frac{2\vec{F} \cdot \Delta \vec{F}}{2(\vec{F} \cdot \vec{F})^{\frac{1}{2}}} - |\vec{F}| = \frac{\vec{F}}{|\vec{F}|} \cdot \Delta \vec{F} \Rightarrow \Delta \vec{T} \approx \hat{F} \cdot \Delta \vec{F} \quad (4.4)$$

Outra condição comumente utilizada a respeito da anomalia de campo magnético total é que $\Delta \vec{T}$ pode ser considerada uma função harmônica, ou seja, satisfaz a equação de Laplace (equação 4.5).

$$\nabla^2 \Delta \vec{T} = 0 \quad (4.5)$$

Logo

$$\nabla^2 \Delta \vec{T} = \nabla^2 (\hat{F} \cdot \Delta \vec{F}) \quad (4.6)$$

Se a direção do campo não varia dentro das dimensões de levantamento, então \hat{F} é constante, deste modo a equação 4.6 pode ficar:

$$\nabla^2 \Delta \vec{T} = \hat{F} \nabla^2 \Delta \vec{F} \quad (4.7)$$

Sendo que,

$$\nabla^2 \Delta \vec{F} = \nabla^2 \Delta F_x + \nabla^2 \Delta F_y + \nabla^2 \Delta F_z \quad (4.8)$$

Como $\Delta \vec{F}$ é harmônico, e é sabido que qualquer componente de um campo potencial é harmônico, implica que $\nabla^2 \Delta \vec{F} = 0$ e conseqüentemente pela equação 4.7, $\nabla^2 \Delta \vec{T} = 0$, assim $\Delta \vec{T}$ satisfaz a equação de Laplace e é harmônico.

Podemos concluir que a anomalia de Campo Magnético Total é um campo potencial e equivale aproximadamente a projeção do campo anômalo $\Delta \vec{F}$ na direção do campo regional \vec{F} .

Não existe grandeza negativa de Campo Total, porém os campos anômalos gerados por fontes magnéticas na terra podem assumir grandezas negativas em relação ao campo regional \vec{F} , isso ocorre devido ao valor negativo do ângulo de inclinação magnética \mathbf{I} na região da medida e acontece em geral nas regiões do hemisfério sul. Um mapa mundial com os valores de \mathbf{I} é mostrado na figura 4.3.

Como pode ser visto na figura 4.3, a região de estudo se localiza numa latitude magnética negativa, neste caso as fontes magnéticas geram anomalias de campo total negativas se comparadas com o campo regional, ou seja, as fontes de campo anômalo estão nos baixos magnéticos das curvas.

Estas observações servem para enfatizar que, nas interpretações dos mapas magnéticos, os lineamentos principais devem ser traçados nos baixos magnéticos, pois na área de estudo a inclinação magnética \mathbf{I} está próxima de $-30^\circ 56'$. Os lineamentos traçados podem representar corpos geológicos ou estruturas tais como falhas e dobras. As discontinuidades destes lineamentos em mapa também podem representar estruturas geológicas importantes.

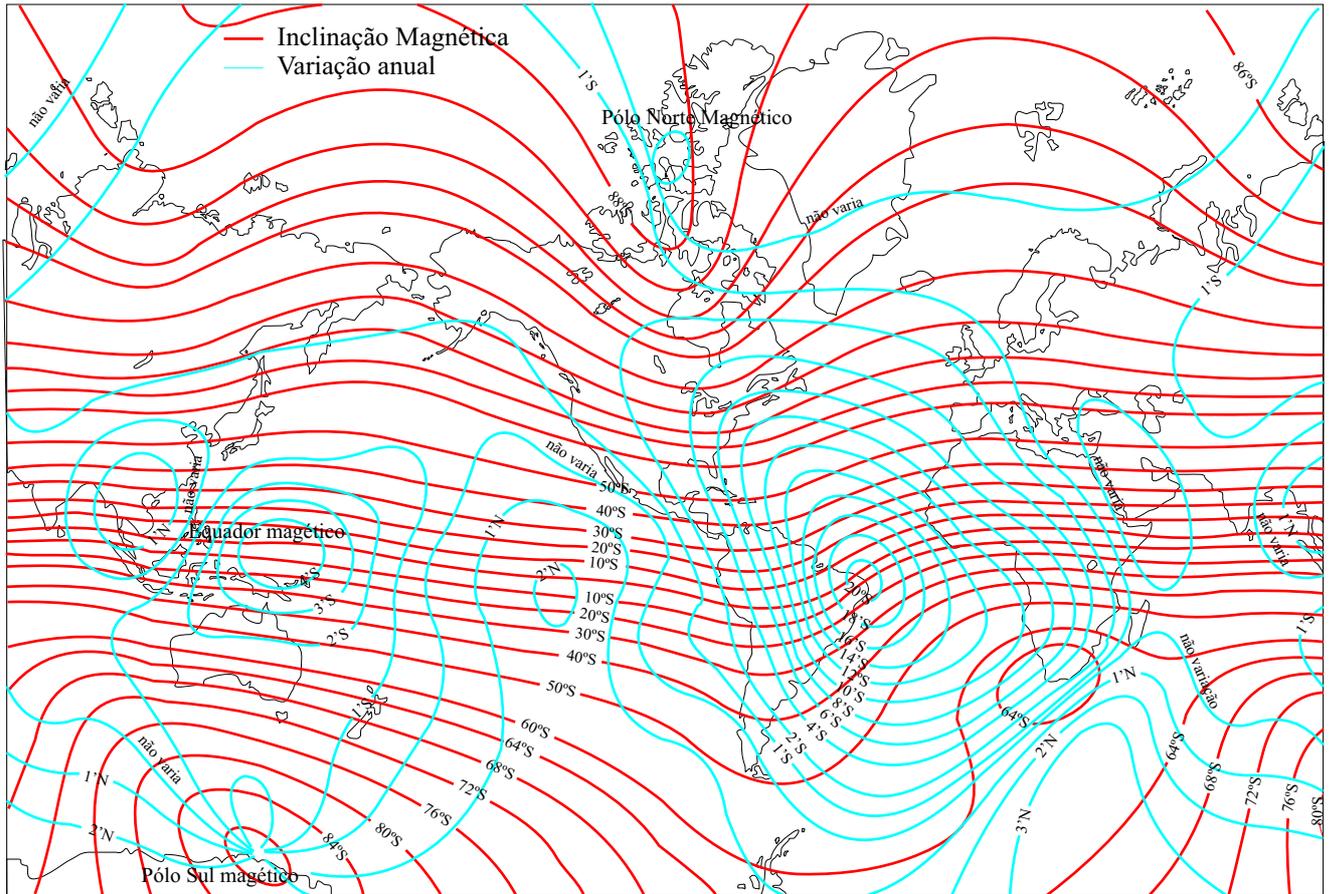


Figura 4.3: Mapa mundial com contornos da Inclinação magnética e sua variação anual (Telford et al., 1990).

4.2.3 Primeira Derivada Vertical (PDV) do Campo Magnético Total

A primeira derivada vertical é uma derivada direcional, que funciona como um filtro gradiente, que realça as altas frequências (filtro Passa Alta), e mede a taxa de variação do campo magnético anômalo à medida que esse se distancia ou se aproxima verticalmente da fonte causativa (Blakely, 1996).

Essa técnica é útil para delimitar estruturas e contatos de corpos geológicos com mais detalhe.

Em termos matemáticos a derivada vertical de um campo potencial \vec{T} que satisfaz a equação de Laplace é dada por $\frac{\partial \vec{T}}{\partial z}$:

$$\nabla^2 \Delta \vec{T} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial z^2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial y^2} \quad (4.9)$$

assim,

$$\frac{\partial \vec{T}}{\partial z} = - \int \left(\frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial y^2} \right) dz \quad (4.10)$$

Esta expressão é válida no prisma elementar de seção unitária, ou seja a seção é representada por um ponto no espaço. \vec{T} é o campo magnético total, x, y as variáveis nos eixos horizontais e z a variável no eixo vertical.

Utilizando a propriedade da transformada de Fourier da derivada (ver Apêndice A) na equação 4.10, temos:

$$\mathbf{F}\left[\frac{\partial \vec{T}}{\partial z}\right] = ik \cdot \mathbf{F}[\vec{T}] \quad (4.11)$$

O valor de k pode ser obtido aplicando a propriedade na equação 4.9.

$$\mathbf{F}\left[-\left(\frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial y^2}\right)\right] = (k_x^2 + k_y^2) \cdot \mathbf{F}[\vec{T}] \quad (4.12)$$

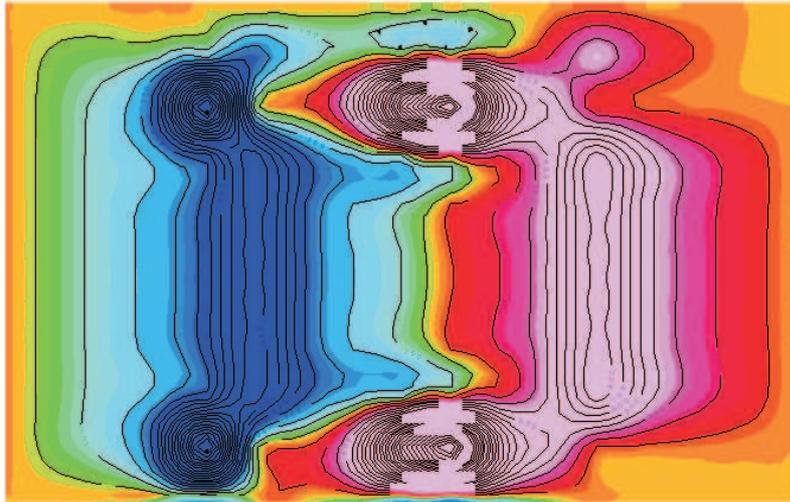
É sabido pela propriedade da transformada de Fourier que $\mathbf{F}\left[\frac{\partial^n \vec{T}}{\partial z^n}\right] = (ik)^n \cdot \mathbf{F}[\vec{T}]$, assim para $n = 2$:

$$\mathbf{F}\left[\frac{\partial^2 \vec{T}}{\partial z^2}\right] = -k^2 \cdot \mathbf{F}[\vec{T}]. \quad (4.13)$$

Igualando as equações 4.12 e 4.13, temos $ik = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$, onde k_x e k_y são os números de onda nas respectivas direções dos componentes T_x, T_y do Campo Magnético Total.

Na figura 4.4 são mostradas duas imagens sintéticas, representando dados de campo magnético total (CMT) e de primeira derivada vertical (PDV) do campo magnético total. Nessa figura, nota-se que na imagem de PDV as anomalias estão mais nítidas.

(a)



(b)

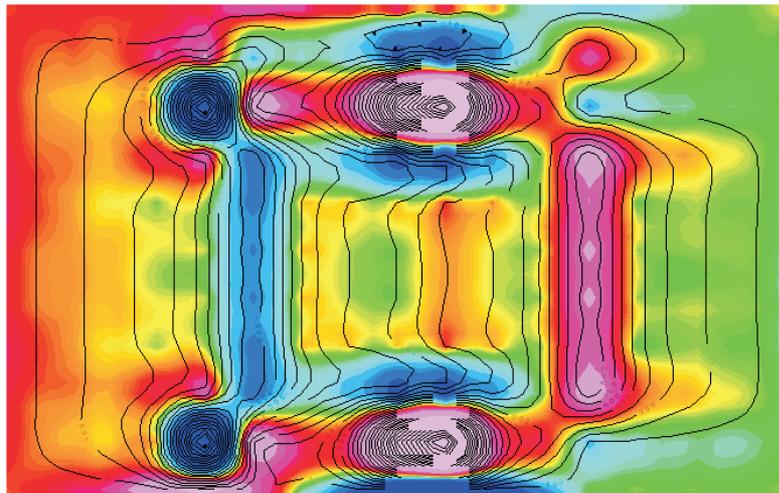


Figura 4.4: Imagens sintéticas, mostrando em (a) o mapa de campo magnético total (CMT) e em (b) o mapa de primeira derivada vertical (PDV), ambos para a mesma anomalia. O mapa da primeira derivada vertical ressalta os contrastes magnéticos ajudando na interpretação.

4.3 Geologia Estrutural

A área de estudo está situada na Faixa de Dobramento Araçuaí (Sampaio et al., 2004) e cerca de 75% dela se encontra coberta pelos sedimentos do Grupo Barreiras, que dificultam

a identificação de estruturas, tanto em escala de afloramento como regional, a não ser pelos trechos de drenagem que cortam a região.

Nesse contexto a análise estrutural se torna um tanto complexa. Assim sendo a observação de estruturas menores desempenha um papel fundamental nessa análise. Pois as pequenas estruturas muitas vezes têm a sua geração vinculada às estruturas regionais conseqüentemente podem servir para identificar grandes domínios estruturais, sejam eles rúpteis ou dúcteis e descrever a geometria dos mesmos, sobretudo quando ocorrem em áreas deformaçõais polifásicas. Em outras palavras, as estruturas menores podem levar ao entendimento de como se formaram as grandes estruturas, pois as mesmas podem apresentar caráter fractal.

Aplicando esse conhecimento, foi feito um estudo estatístico das principais direções dos lineamentos estruturais encontrados no mapa geológico da área e posteriormente o mesmo tratamento para os dados de campo.

A técnica de interpretação dos dados estruturais contidos no mapa geológico, se baseou no tratamento estatístico das orientações dos lineamentos estruturais da área de modo a definir os padrões predominantes.

A mesma técnica foi aplicada aos dados geológicos coletados em campo, sendo que neste caso a totalidade dos dados tratados é de estruturas rúpteis, enquanto que os lineamentos estruturais descritos em mapa são tanto de estruturas rúpteis quanto dúcteis. É importante observar que os dados de campo representam uma amostragem mais localizada e detalhada, apresentando medidas em afloramentos com direção e mergulho dos planos.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Resultados da Interpretação da Imagem de Satélite

Os lineamentos traçados na Imagem de Satélite do Relevo (ISR) apresentaram padrões bastante dispersos no que diz respeito a direção dos lineamentos estruturais. Ao todo foram identificados 617 lineamentos estruturais. Os padrões de direção predominantes (Fig. 5.1 (a)) foram: N40°-50° e N50°-60°, com 54 medidas cada (8,7%); N120°-130°, com 49 medidas (7,9%); N110°-120°, com 47 medidas (7,6%); N30°-40°, com 42 medidas (6,8%); N0°-10°, com 38 medidas (6,1%) e N60°-70°, com 37 medidas (6,0%).

Também foi feito o mesmo tratamento levando em consideração o comprimento acumulado dos lineamentos estruturais. Ao todo foi medido um comprimento acumulado de 2.132 km os padrões de direção predominantes (Fig. 5.1 (b)) foram: N50°-60°, com 189 km (8,8%); N120°-130°, com 173 km (8,1%); N110°-120°, com 162 km (7,6%) e N40°-50°, com 159 km (7,5%).

A ISR é mostrada na figura 3.1 e o mapa interpretativo na figura 5.2, as rosáceas com a frequência direcional das medidas e do comprimento acumulado são vistas na figura 5.1.

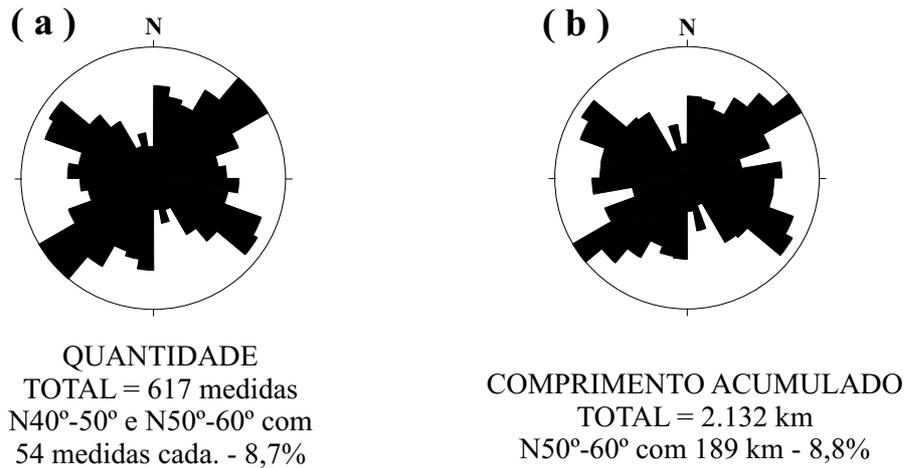


Figura 5.1: Rosáceas com frequência direcional dos lineamentos estruturais obtidos a partir da ISR, em (a) a por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.

5.2 Resultados da Interpretação de Dados Geofísicos

Na área de estudo os valores de campo magnético total (CMT) variaram pouco relativamente (entre 23.995 e 24.090nT). Ao todo foram identificados 5 domínios magnéticos (Fig. 5.4), a partir do valor médio das anomalias de CMT.

No primeiro domínio magnético D_1 , localizado na parte NE da área, o valor do CMT varia entre 23.995 e 24.076nT com valor médio próximo a 24.016nT.

No segundo domínio magnético D_2 , localizado na parte SE da área, o valor do CMT varia entre 24.020 e 24.090nT com valor médio próximo a 24.055nT.

No terceiro domínio magnético D_3 , localizado na parte NW da área, o valor do CMT varia entre 24.043 e 24.061nT com valor médio próximo de 24.052nT.

No quarto domínio magnético D_4 , localizado na parte W da área, o valor do CMT varia entre 24.036 e 24.048nT com valor médio próximo de 24.042nT.

No quinto domínio magnético D_5 , localizado na parte SW da área, o valor do CMT varia entre 24.037 e 24.053nT com valor médio próximo de 24.045nT.

Os padrões de lineamento magnéticos da área apresentaram padrões menos dispersos de

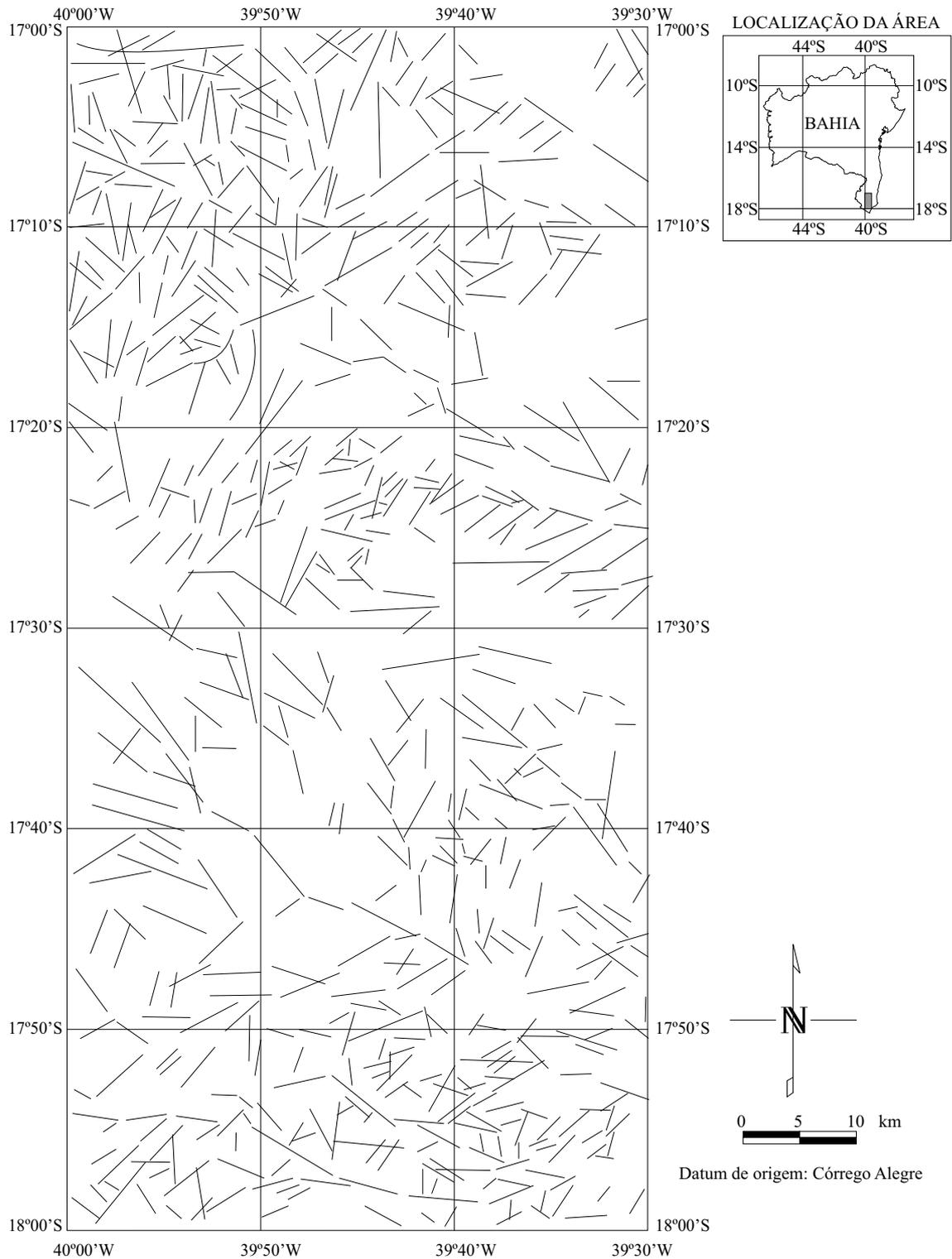


Figura 5.2: Mapa interpretativo da área com os lineamentos estruturais obtidos a partir da imagem de satélite do relevo (Miranda, 2005).

direção, do que os encontrados na ISR. De uma maneira geral eles se apresentam na forma de linhas retas e curvas que podem sugerir geometria dobrada, como pode ser visto no mapa interpretativo (Fig. 5.4) e foram traçados pelos baixos magnéticos. Para isso foi utilizado o mapa de primeira derivada vertical (PDV) do campo magnético total (Fig. 3.3), que resalta melhor as anomalias magnéticas dos corpos geológicos como foi explicado no item 4.2.3.

No total foram traçados 389 lineamentos pelos alinhamentos dos baixos valores magnéticos e das discontinuidades destes. Os padrões de direção predominantes (Fig. 5.3(a)) foram: N40°-50°, com 46 medidas (11,8%); N50°-60°, com 37 medidas (9,5%); N30°-40°, com 33 medidas (8,5%); N120°-130°, com 31 medidas (8,0%); N90°-100°, com 27 medidas (6,9%); N110°-120° e N140°-150°, com 26 medidas cada (6,7%) e N0°-10°, com 25 medidas (6,4%).

Também foi feito o mesmo tratamento levando em consideração o comprimento acumulado dos lineamentos magnéticos. Ao todo foi medido um comprimento de 1.490 km os padrões de direção predominantes (Fig. 5.3(b)) foram: N40°-50°, com 183 km (12,3%); N30°-40°, com 160 km (10,7%); N120°-130°, com 141 km (9,5%); N50°-60°, com 138 km (9,3%); N90°-100°, com 102 km (6,8%); N110°-120°, com 96 km (6,4%); N0°-10° e N140°-150°, com 90 km cada (6,0%). As rosáceas com a frequência direcional de medidas e de seus comprimento são vistas na figura 5.3.

Os mapas de contorno do CMT e de PDV não puderam ser mostrados integralmente neste trabalho, pois são de propriedade da CBPM que detém o direito de cópia e venda dos mesmos. Contudo são mostrados aqui, além do mapa interpretativo com os domínios e lineamentos magnéticos (Fig. 5.4) os mapas em mosaico e preto e branco do CMT (Fig. 3.2) e da PDV (Fig. 3.3).

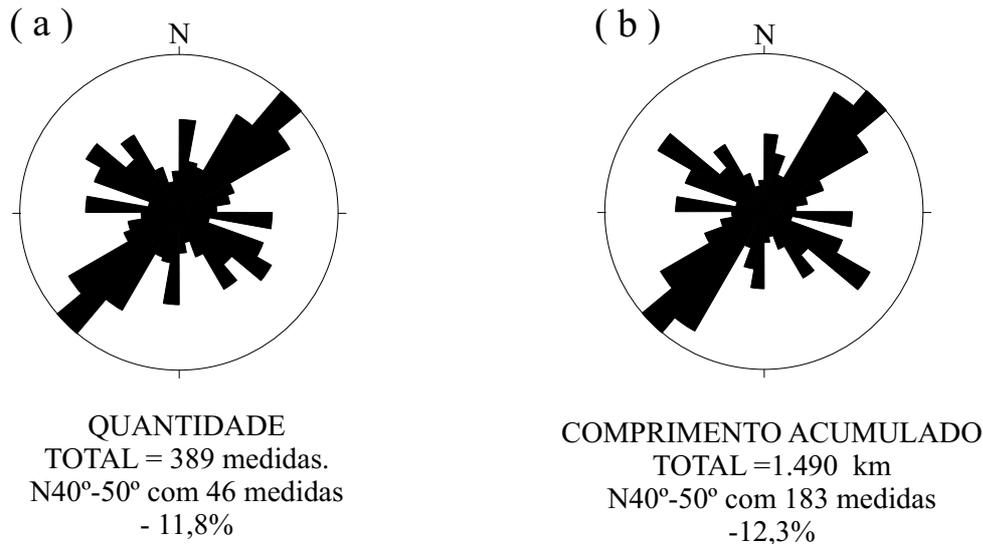


Figura 5.3: Rosáceas com freqüência direcional dos lineamentos magnéticos obtidos a partir do mapa de PDV, em (a) por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.

5.3 Resultados da Interpretação de Dados Geológicos

5.3.1 Interpretação de Dados do Mapa Geológico

Foram contados em mapa 1206 lineamentos estruturais. Os padrões de direção predominantes para área (Fig. 5.3(b)) foram: N150°-160°, com 139 medidas (11,5%); N130°-140°, com 104 medidas (8,6%); N0°-10°, com 92 medidas (7,6%); N20°-30°, com 83 medidas (6,9%) e N80°-90°, com 81 medidas (6,7%).

Os padrões de lineamentos estruturais encontrados no mapa geológico apresentaram comprimentos relativamente pequenos, se comparados com os lineamentos magnéticos. O tratamento de dados levou em consideração o comprimento acumulado dos lineamentos estruturais para cada intervalo de direção. Ao todo foi medido um comprimento de 1.809 km, e os padrões de direção predominantes (Fig. 5.5(b)) foram: N150°-160°, com 240 km (13,3%); N130°-140°, com 149 km (8,2%); N80°-90°, com 137 km (7,6%) e N0°-10°, com 128 km (7,1%). O mapa estrutural da área é mostrado na figura 3.4.

5.3.2 Interpretação dos Dados de Campo

Ao todo foram tratados 579 medidas de planos de falhas e fraturas, sendo que os dados foram coletados em 8 afloramentos distribuídos na área de estudo (Fig. 1).

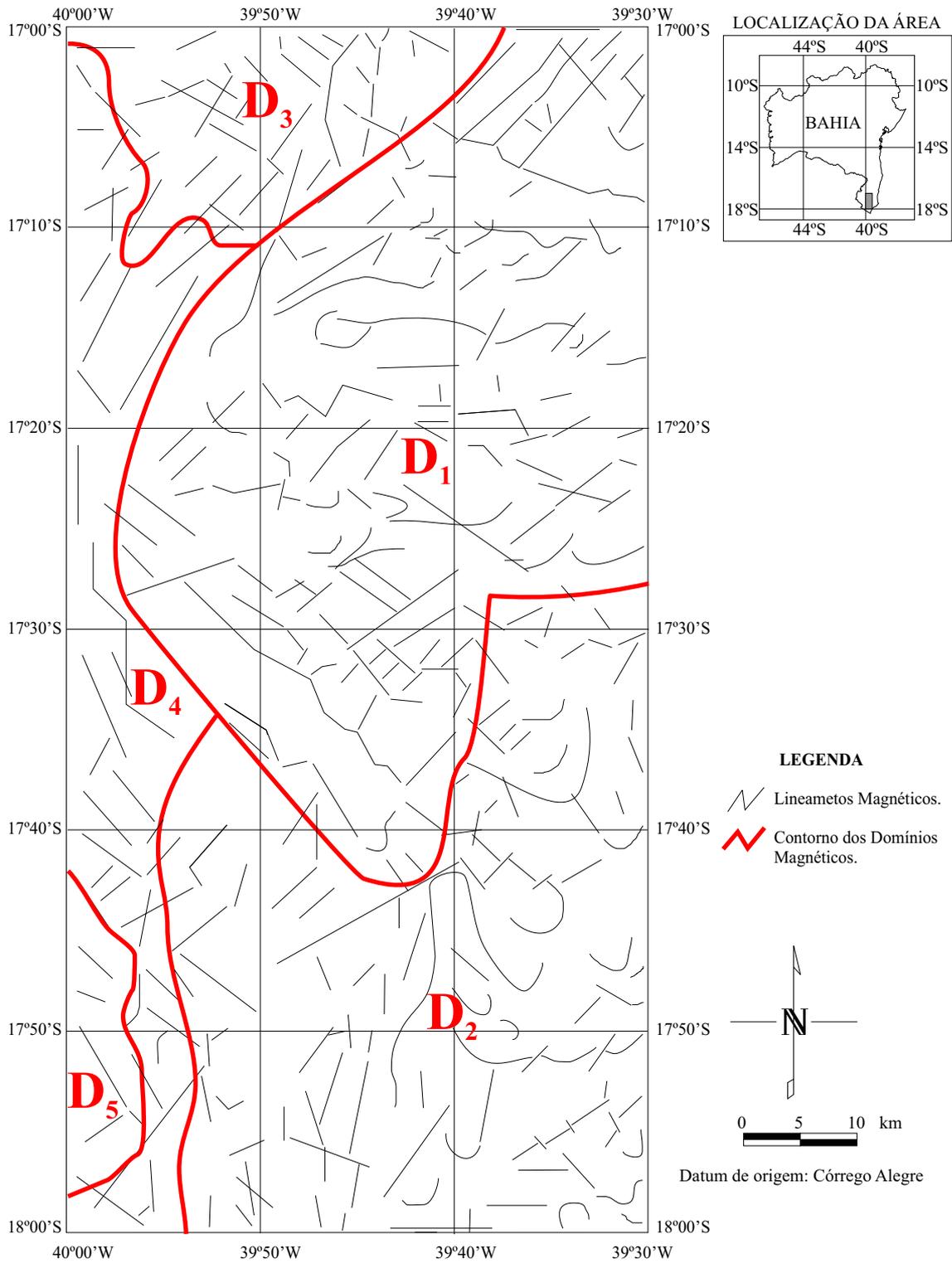


Figura 5.4: Mapa interpretativo da Área com os lineamentos magnéticos em preto, obtidos a partir do mapa de PDV. Os contornos em vermelho identificam os diferentes domínios magnéticos.

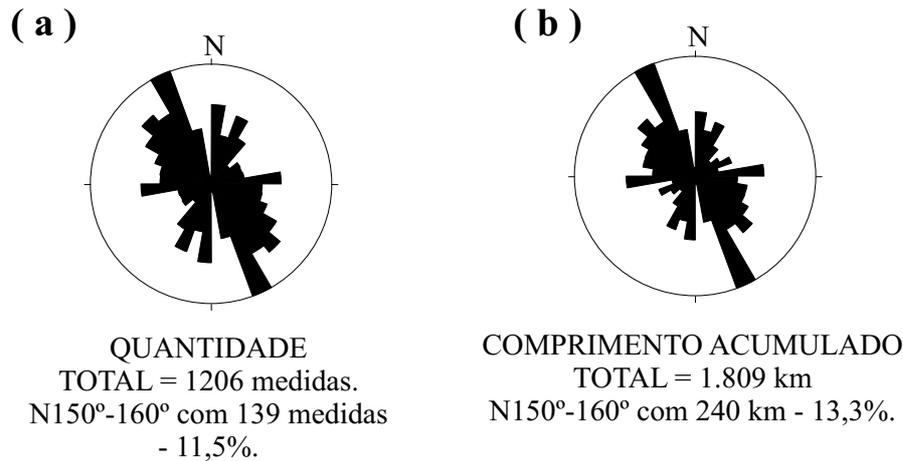


Figura 5.5: Rosáceas com freqüência direcional dos lineamentos estruturais obtidos a partir do mapa estrutural, em (a) por quantidade de medidas e em (b) por comprimento acumulado em km.

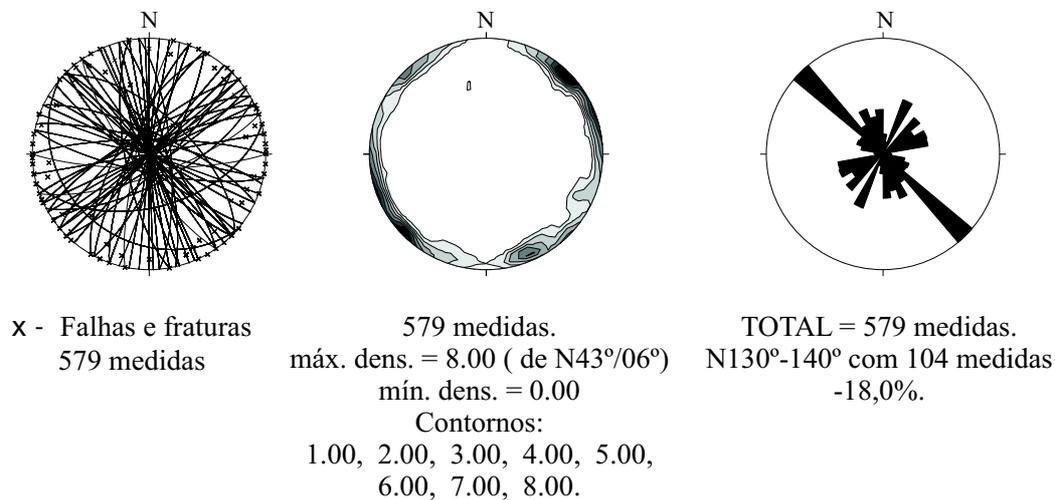


Figura 5.6: Estereogramas de grandes círculos e densidade polar e rosácea com freqüência de direção dos planos de falhas e fraturas, obtidos a partir dos dados de campo.

Os padrões de direção predominantes na área (Fig. 5.6) foram: N130°-140°, com 104 medidas (18,0%), N20°-30°, com 52 medidas (9,0%); N40°-50° e N150°-160°, com 43 medidas cada (7,4%); N60°-70°, com 42 medidas (7,2%); N70°-80° e N170°-180°, com 40 medidas cada (6,9%).

A quase totalidade dos planos medidos apresentaram mergulhos sub-verticais ($> 70^\circ$), sendo que 313 (54%), apresentaram mergulhos verticais.

Os estereogramas de grandes círculos e densidade polar e a rosácea com freqüência de direção dos planos de falhas e fraturas são mostrados na figura 5.6.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO

O padrão estrutural da área se mostrou bastante diversificado, tanto no que diz respeito às direções dos lineamentos, quanto em relação aos padrões deformacionais rúpteis e dúcteis com significativa presença de estruturas dobradas.

No geral o tratamento estatístico apresentou em todos os dados resultados semelhantes entre os tratamentos de quantidade de medidas e comprimento acumulado (Figs. 5.1, 5.3 e 5.5).

Na interpretação da imagem de satélite do relevo (ISR) os padrões que mais se destacaram foram os com direções próximas a $N50^\circ$ e $N120^\circ$, essas direções aparecem em destaque tanto na rosácea que trata da quantidade de medida, quanto na que trata do comprimento acumulado (Fig. 5.1). Em menor quantidade temos a presença de padrões de direções próximas a $N00^\circ$ e $N90^\circ$. No geral padrões estruturais interpretados a partir da ISR estão relacionados principalmente com os contornos das montanhas e o próprio padrão de drenagem da região. O padrão $N120^\circ$ tem direção próxima à do padrão de drenagem que corta a região e o padrão $N50^\circ$ é transversal. Ambos os padrões podem estar relacionados com grandes zonas cisalhantes, devido a presença marcante da quantidade e do comprimento acumulado das medidas.

Os mapas de campo magnético total (CMT) e primeira derivada vertical (PDV) serviram para identificar domínios magnéticos que podem estar relacionados com a profundidade do embasamento e/ou com as diferentes propriedades magnéticas dos granitos e gnaisses da região. A interpretação e o tratamento estatístico do mapa de PDV identificaram padrões que não são tão bem notados com outros recursos como ISR e levantamentos geológicos, padrões estes que têm relação tanto com as estruturas superficiais quanto com as de subsuperfície.

Os domínios magnéticos da região (Fig. 5.4) apresentaram diferenças relativamente pequenas no valor de campo magnético total (CMT), porém se destacam dois importantes

domínios: o D_1 , localizado na parte norte da área, com valores mais baixos de CMT e o D_2 , localizado na parte sul da área, com valores mais altos de CMT. Sendo que o domínio D_1 apresenta mais rochas aflorantes do embasamento e o domínio D_2 é totalmente coberto pelo Grupo Barreiras, como pode ser visto no mapa geológico (Fig. 2).

É possível que a diferença de valores de CMT entre os domínios D_1 e D_2 exista devido exclusivamente a presença do Grupo Barreiras na parte sul da área, já que as rochas do embasamento que afloram nos rios que cortam a parte sul, coberta pelo Grupo Barreiras, são gnaiesses semelhantes aos que afloram na parte norte, como pode ser visto no mapa geológico (Fig. 2).

O domínio magnéticos D_3 , localizado na parte NW da área, apresenta valores de CMT mais altos do que o o domínio D_1 e pode estar relacionado com o granito que aflora na região. Quanto aos domínios D_4 e D_5 , apresentam valores intermediários de CMT, se comparados aos domínios D_1 e D_2 , tais valores podem ter relação com a profundidade do embasamento na parte sul da área, sendo que o domínio D_4 apresenta um valor médio de CMT um pouco menor que o domínio D_5 .

Quanto aos padrões dos lineamentos magnéticos, as direções predominantes foram próximas as encontradas na ISR, de direção $N50^\circ$ (mais marcante) e $N120^\circ$ com presença em menor número dos de direção $N00^\circ$ e $N90^\circ$. Isso reforça a idéia de importantes zonas de cisalhamento, com direções próximas a $N50^\circ$ e $N120^\circ$, estarem afetando a área de maneira significativa.

Os dados estruturais presentes no mapa geológico apresentaram um importante padrão de direção próxima a $N150^\circ$ (Fig.5.5) e também a modesta presença dos padrões $N00^\circ$ e $N90^\circ$. Os dados tirados do mapa geológico têm relação com medidas estruturais tiradas em superfície, sendo que as estruturas de superfície que não tem relação com as vistas na ISR e no mapa de PDV podem ser mais novas e obviamente, devem ter relação com a reativação de importantes zonas cisalhantes, talvez as mesmas encontradas nos dados de ISR e geofísicos.

Por fim os dados coletados em campo mostraram padrões estruturais predominantes com direções próximas a $N130^\circ$ e $N30^\circ$ (Fig. 5.6(a)), a maior parte dos planos de falhas e fraturas medidos apresentaram mergulho vertical, ou seja estruturas típicas de domínios tectônicos transcorrentes. Neste caso são estruturas superficiais e ao exemplo das obtidas no mapa geológico podem ter sido geradas mais recentemente por meio de reativação tectônica de estruturas pré-existentes.

As direções dos lineamentos identificadas em todas as interpretações são próximas as descritas em outros trabalhos referentes a região (Corrêa-Gomes, 2003 e Sampaio et al., 2004) e áreas relativamente próximas como o litoral sul (Lima, 2002) e as zonas de cisalhamento de Itabuna-Itajú do Colônia e de Potiraguá (Corrêa-Gomes et al., 2005).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

O método magnético serviu como importante ferramenta para identificar os principais padrões rúpteis da área, sobretudo na parte sul onde predomina o Grupo Barreiras. Os padrões estruturais apresentaram duas direções principais próximas a N50° e N120° e duas secundárias próximas N00° e N90°. Os padrões N50° e N120° podem ter forte relação com zonas cisalhantes transcorrentes. No geral estas direções são próximas às já descritas por outros autores para a região (Lima, 2002; Corrêa-Gomes, 2003 e Corrêa-Gomes et al., 2005).

Os domínios magnéticos encontrados, apesar de não apresentarem grandes contrastes magnéticos, podem servir ao auxílio do conhecimento geológico sobre a espessura do Grupo Barreiras e o tipo de rocha que constitui o embasamento subjacente, sendo necessário para isso estudos quantitativos em escala mais detalhada.

Os dados obtidos no mapa geológico e coletados em campo serviram para auxiliar a interpretação geofísica indicando a natureza das estruturas geológicas que geraram as anomalias magnéticas.

Os dados obtidos a partir da ISR mostraram que as feições regionais do relevo apresentaram boa relação com os lineamentos magnéticos. Porém os padrões encontrados na ISR variaram em relação com os dados geológicos de superfície, ou seja, parte dos dados geológicos não apresentaram relação com a formação do relevo da área e podem ter sido gerados posteriormente. Isso indica a ação da Neotectônica na área.

O casamento das informações de imagem de satélite do relevo, mapa geológico e dados de campo serviu de importante técnica para a complementação da interpretação geofísica, ajudando na identificação dos padrões estruturais predominantes.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela dádiva da vida e por nos proporcionar um planeta magnífico que serve de grande inspiração aos geocientistas.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro e pela formação científica oferecidos através da bolsa de iniciação científica e do grupo de pesquisa NEOTEC-BA.

Agradeço a CBPM por ter liberado as informações necessárias para este trabalho.

Agradeço ao CPGG por disponibilizar o laboratório de informática e a infra-estrutura indispensável para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos membros da banca examinadora pelas críticas e correções sugeridas no texto.

Agradeço aos colegas e amigos do Instituto de Geociências com quem tive o prazer de conviver durante o período do curso.

APÊNDICE A

Demonstração da Transformada de Fourier da Derivada de $f(x)$

Transformada Direta: $F[f(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx$

Transformada Inversa: $F^{-1}[F[f(x)]] = f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F[f(x)]e^{ikx} dk$

Derivando os dois lados da equação da transformada inversa, se obtém:

$$\frac{d}{dx} f(x) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dx} \left[\int_{-\infty}^{\infty} F[f(x)]e^{ikx} dk \right]$$

$$\frac{d}{dx} f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F[f(x)] \frac{d}{dx} e^{ikx} dk$$

$$\frac{d}{dx} f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} ik \cdot F[f(x)]e^{ikx} dk$$

Aplicando a transformada direta nos dois termos da equação,

$$F\left[\frac{d}{dx} f(x)\right] = ikF[f(x)]$$

Analogamente para a n -ésima derivada,

$$F\left[\frac{d^{(n)}}{dx^{(n)}} f(x)\right] = (ik)^n F[f(x)].$$

Essa expressão pode ser extendida para funções com 2 variáveis como:

$$\begin{aligned}
& F^{-1}\left[F\left[\frac{\partial}{\partial x}f(x,y) + \frac{\partial}{\partial y}f(x,y)\right]\right] \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F[f(x,y)] \frac{\partial}{\partial x} e^{i(k_x x + k_y y)} dk + \int_{-\infty}^{\infty} F[f(x,y)] \frac{\partial}{\partial y} e^{i(k_x x + k_y y)} dk \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} i k_x F[f(x,y)] e^{i(k_x x + k_y y)} dk + \int_{-\infty}^{\infty} i k_y F[f(x,y)] \frac{\partial}{\partial y} e^{i(k_x x + k_y y)} dk
\end{aligned}$$

Logo,

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x} f(x,y) + \frac{\partial}{\partial y} f(x,y) \\
&= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} i(k_x + k_y) F[f(x,y)] e^{i(k_x x + k_y y)} dk
\end{aligned}$$

Aplicando a transformada direta nos dois termos da equação,

$$\begin{aligned}
& F\left[\frac{\partial}{\partial x} f(x,y) + \frac{\partial}{\partial y} f(x,y)\right] \\
&= i(k_x + k_y) F[f(x,y)].
\end{aligned}$$

Analogamente a transformada para a derivada segunda é dada por:

$$F\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x,y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x,y)\right] = [(ik_x)^2 + (ik_y)^2] F[f(x,y)] = -[k_x^2 + k_y^2] F[f(x,y)],$$

onde k_x e k_y são os números de onda em x e y .

Referências Bibliográficas

- Almeida, F.F. M.(1977). O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências. p.349-364.v-7 S-4.
- Araújo, C. C., Yamamoto, J. K. e Rostirolla, S. P. (2006). Arenitos Asfálticos na Bacia do Paraná: estudo das ocorrências no Alto Estrutural de Anhembi. Boletim de Geociências da Petrobrás. p.47-70. v. 7. S. 4.
- Barbosa J. S. F. e Dominguez, J. M. L.(1996). Geologia da Bahia: texto explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia. SGM.
- Blakely, J. B.(1996). Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications-Cambridge University Press New York
- Corrêa-Gomes, L.C., Dominguez, J. M. L., Barbosa,J. S. F., Silva,I. C., Pinto,M. V. (2005). Relações entre orógenos, zonas de cisalhamento, quebra continental e deformações 3-D. A história tectônica da Bacia Sedimentar de Almada, Bahia. Revista Brasileira de Geociências. p. p. 105-115. v-35. s-4.
- Corrêa-Gomes, L.C.(2003). Projeto Neotectônica do SSE do Estado da Bahia. Relatório Anual 2003. Relatório Final. Processo número: 478248/01-6 NV. CNPq. p. 60.
- Duyster, J. P.(2000). Stereographic Projections and Stereonets. Earth Sciences at USC.
- Gomes,G.R. (1998). Tratamento de dados aeromagnéticos do Vale do Rio Curaçá na Bahia. Monografia de Graduação. 50 pp.
- Lima, C.C. Uchôa. (2002). Caracterização sedimentológica e aspectos neotetônicos do Grupo Barreiras no litoral sul do estado da Bahia. Salvador. UFBA. Tese de Doutorado.
- Loczy, L. de e Ladeira, E. A.(1976). Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. Edgar Blüsher Ltda. São Paulo.
- Maas, M.V.R. , Oliveira C.G. de, Pires, A.C.B., Moraes, M.A.V. de (2003). Aplicação da Geofísica Aérea na Exploração Mineral e Mapeamento Geológico do Setor Sudoeste do Cinturão Cuprífero Orós - Jaguaribe. Revista Brasileira de Geociências. p.279-288. v 33 (3).

- Miranda, E. E. de - Coord.(2005). Brasil em Relevo. Disponível em
<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Embrapa Monitoramento por Satélite-Campinas.
 p.2,esc.: 1:100.000.v. 1.
- Nogueira, F.C.C., Oliveira, M.S.de e Castro, D.L. de. (2004). Estudo Magnético e Gravi-
 métrico do Arcabouço Estrutural da Bacia Rio do Peixe - PB.Revista de Geologia.
 p. 74-87. v. 17.
- Pedrosa-Soares, A.C.e Wiedemann-Leonardos, M.C. (2000). Evolution of the Araçuaí Belt
 and its conection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil.
 In Tectonic Evolution of South America: Cordani,U.G.,MILANI,E.J.,THOMAZ
 FILHO,A.and CAMPOS, D. A (2000). IGC/BRAZIL. p 21.
- Sampaio, A.R., Martins, A. M., Loureiro, H.C., Arcanjo, J. B., Moraes Filho, J.C.,
 Souza, J.D. de Pereira, L. H., Couto, P.A., Santos, R.A. dos, Melo, R.C.de,
 Bento,R.V. e Borges, V.P. (2004). Extremo Sul da Bahia: Geologia e Recursos Mine-
 rais. Arquivos Abertos. CBPM e CPRM.
- Sampaio, A.R., Martins, A. M., Loureiro, H.C., Arcanjo, J. B., Moraes Filho, J.C.,
 Souza, J.D. de Pereira, L. H., Couto, P.A., Santos, R.A. dos, Melo, R.C.de,
 Bento,R.V. e Borges,V.P. (2002).Projeto Extremo Sul da Bahia: Sistema de Informa-
 ção Geográfica-SIG-Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB
 Convênio de Cooperação Técnico-Científica CBPM - CPRM. Arquivo GIS. CBPM e
 CPRM.Salvador, Bahia.v1.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. e Keys, D.A. (1990). Applied Geophysics.
 Cambridge University Press. Cambridge.