



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**DAYANA CRISTINA MACEDO DE MELO**

**ANÁLISE DA TECTÔNICA RÚPTIL ASSOCIADA A UMA PORÇÃO DO  
LINEAMENTO TRANSBRASILIANO DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ  
INTEGRANDO DADOS DE CAMPO, MAGNETOMÉTRICOS E DE  
SENSORIAMENTO REMOTO**

**FORTALEZA**

**2014**

DAYANA CRISTINA MACEDO DE MELO

ANÁLISE DA TECTÔNICA RÚPTIL ASSOCIADA A UMA PORÇÃO DO  
LINEAMENTO TRANSBRASILIANO DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ  
INTEGRANDO DADOS DE CAMPO, MAGNETOMÉTRICOS E DE SENSORIAMENTO  
REMOTO

Dissertação submetida à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Geologia, da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
necessário para obtenção do grau de Mestre  
em Geologia.

Área de concentração: Geodinâmica e  
Recursos Minerais

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sônia Maria Silva  
Vasconcelos

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- M485a      Melo, Dayana Cristina Macedo de.  
              Análise da tectônica rúptil associada a uma porção do Lineamento Transbrasiliano da região  
              noroeste do Ceará integrando dados de campo, magnetométricos e de sensoriamento remoto /  
              Dayana Cristina Macedo de Melo. – 2014.  
              60 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de  
              Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2014.  
              Área de Concentração: Geologia.  
              Orientação: Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos.
1. Magnetometria. 2. Geofísica. 3. Sensoriamento remoto. I. Título.

DAYANA CRISTINA MACEDO DE MELO

ANÁLISE DA TECTÔNICA RÚPTIL ASSOCIADA A UMA PORÇÃO DO  
LINEAMENTO TRANSBRASILIANO DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ  
INTEGRANDO DADOS DE CAMPO, MAGNETOMÉTRICOS E DE  
SENSORIAMENTO REMOTO

Dissertação submetida à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Geologia,  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito necessário para obtenção do  
grau de Mestre em Geologia. Área de  
concentração: Geodinâmica e Recursos  
Minerais.

Aprovada em \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sônia Maria Silva Vasconcelos (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Sebastián González Chiozza

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fabio Souza e Silva da Cunha

Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

À minha família, ao meu amado marido  
e a todos que acreditaram no meu  
potencial.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e determinação concedida para realização de mais um sonho.

Aos meus pais Zelândia e Waldemar, minhas irmãs Luciana, Adriana e Ana Cláudia, pelo amor, por sempre me apoiarem e por terem lutado para me proporcionar sempre o melhor.

Aos meus sobrinhos Jefter, Sthefany, Julio Rasec, Jennifer, Ana Clara e Jean Luca Davi, por serem os grandes motivadores para eu continuar estudando para alcançar melhor condição de vida e assim ser para vocês um grande exemplo.

Ao meu marido Idembergue, pelo amor, incentivo, paciência e companheirismo durante todos esses anos.

À minha Orientadora Sônia Vasconcelos, pela amizade, incentivo e apoio nos momentos mais difíceis, muito obrigada.

Aos professores Zeca e Fuck pela oportunidade concedida de fazer parte de um grande projeto.

À professora Roberta Vidotti e seus alunos da UNB, pela ajuda nos processamentos dos dados geofísicos.

Aos professores Fabio, Johson, Welligton, Wagner e Helena pelos ensinamentos repassados.

Ao professor Sebastián que me ajudou no momento mais decisivo desta caminhada, pelos conhecimentos repassados, pela sua disponibilidade, pelo incentivo e discussões que muito me fizeram aprender, esses foram fundamentais para eu seguir em frente.

Aos amigos geólogos e geofísicos Fabiano, Karen, Rafael, Agnaldo, Karla, Enoque, Cecílio, Diones, João Paulo, Marília e Fernando por dirimirem algumas dúvidas.

Aos amigos e companheiros de longas jornadas, em especial Camila e Renata, pelo apoio incentivo e por estarem ao meu lado em todos os momentos, principalmente pelos momentos de descontração que me deram forças para continuar meus estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

Aos funcionários do Departamento de Geologia pela disponibilidade em me ajudar.

E finalmente, a todas aquelas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

## RESUMO

A tectônica rúptil analisada neste trabalho é referente a uma área que detém uma porção do Lineamento Transbrasiliano (LT), situada na região Noroeste do Estado do Ceará. Esta área abrange parte dos municípios de Cariré, Pacujá, Graça e Reriutaba. O contexto geológico abrange o embasamento (Complexo Ceará-Unidade Canindé) e as bacias Jaibaras (Grupo Jaibaras- Formação Pacujá) e Parnaíba (Grupo Serra Grande). Este estudo tem como objetivo caracterizar as estruturas rúpteis associadas ao LT, através da integração de informações oriundas de sensores remotos (SRTM-Topodata e Landsat 7 ETM+), geofísica (magnetometria) e dados de campo. A partir das imagens SRTM-Topodata obtiveram-se o traço da rede de drenagem e as imagens com sombreamento de relevo nas direções N, NE, E, NW. As imagens Landsat 7 ETM+ as imagens foram analisadas em composições coloridas RGB 743 e 431. Estes produtos integrados permitiram a visualização de lineamentos que foram vetorizados para posterior comparação com outros dados. Os dados magnetométricos foram processados permitindo a obtenção do campo magnético anômalo na área de estudo, e a elaboração de produtos gráficos através da aplicação de diferentes filtros, tais como: Derivada horizontal e derivadas verticais, amplitude do sinal analítico, inclinação do sinal analítico, os quais permitiram identificar lineamentos e definir domínios magnéticos. As anomalias magnéticas tiveram suas profundidades estimadas através da deconvolução de Euler e da aplicação de filtro *matched*. Os diagramas de roseta elaborados a partir de medidas de campo de direções dos planos de fratura constituíram parâmetros para comparação com os lineamentos extraídos dos outros produtos. A integração das informações evidencia que a principal direção do LT (NE-SW) é compatível com as estruturas rúpteis observadas na área de estudo, assim como as direções N-S e NW-SE potencialmente relacionadas com a tectônica transtativa/extensional do LT. A direção E-W tardia ao LT aparece tanto no embasamento como nas bacias. A análise comparativa dos dados sugere um controle tectônico do LT nas bacias Jaibaras e Parnaíba, através da reativação de estruturas nas direções NE e NW.

**Palavras- Chave:** Lineamento Transbrasiliano. Sensoriamento Remoto. Magnetometria.

## ABSTRACT

The brittle tectonic analyzed in this work is referring to an area that represents a portion of the Transbrasiliano Lineament (TL), in northwest of Ceará State, comprising part of Cariré, Pacujá, Graça and Reriutaba's county and the geological context is the basement (Ceará Complex-Canindé Unit) and Jaibaras and Parnaíba Basin (Jaibaras Group-Pacuja Formation and Serra Grande Group, respectively). This study aims to characterize the brittle structures associated to the TL, through integration of remote sensing (SRTM-Topodata and Landsat 7 ETM+), geophysics (Magnetometry) and field data information. From SRTM-Topodata images there were obtained drainage system and hillshade images in N, NE, E and NW directions. Color composition images RGB 743 and 431 derived from Landsat 7 ETM+. The combination of these products permitted the visualization of lineaments that were vectorized to compare to other data. The processed magnetometric data allowed to obtain the anomalous magnetic field and the elaboration of other products through application of variable filters, such as: horizontal and vertical Derived, analytic signal amplitude and analytic signal inclination. They were assets to identify lineaments and define magnetic domains. Anomalous magnetic their depth estimated by Euler deconvolution and matched filter application. The fracture planes' rosette diagram elaborated from field measures composed parameters to compare the lineaments extracted from the products aforementioned. It's evident, from the integration of all information, that the main direction of the TL (NE-SW) is compatible with the brittle structures observed in the area, as well as the N-S and NW-SE lineaments, that are potentially related with translative/extensional tectonic of TL. The E-W direction, which is late to TL and appears in the basement as the basins. The comparative analysis of the data suggests a tectonic control from TL over Jaibaras and Parnaíba Basins, through structures reactivation in NE and NW directions.

**Keywords:** Transbrasiliano Lineament. Remote Sensing. Magnetometry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização e acesso da área de estudo.....	14
Figura 2: Divisão da Província Borborema.....	18
Figura 3: Mapa geológico da área de estudo.....	20
Figura 4: Imagens SRTM-Topodata com sombreamento de relevo nas direções N, NE, E e NW.....	25
Figura 5: Imagem SRTM-Topodata com a drenagem extraída.....	26
Figura 6: Imagem Landsat 7 ETM + com composição colorida RGB 754.....	27
Figura 7: Imagem Landsat 7 ETM+ com composição colorida RGB 431.....	28
Figura 8: Lineamentos extraídos dos produtos de sensoriamento remoto (SRTM- Topodata e Landsat 7 ETM+).....	29
Figura 9: Campo magnético anômalo com interpolação <i>Bigrid</i> .....	31
Figura 10: Mapa da derivada horizontal em x do campo anômalo com filtro Hanning.....	33
Figura 11: Mapa da derivada horizontal em y do campo anômalo com filtro Hanning.....	33
Figura 12: Mapa da derivada vertical do campo anômalo com filtro Hanning.....	34
Figura 13: Mapa do gradiente horizontal total do campo anômalo com filtro Hanning.....	34
Figura 14: Mapa da amplitude do sinal analítico do campo anômalo.....	35
Figura 15: Mapa da inclinação do sinal analítico do campo anômalo.....	36
Figura 16: Deconvolução de Euler para o índice estrutural 1.....	37
Figura 17: Campo magnético anômalo em A na profundidade rasa (139 m), em B intermediária (341 m) e em C profundo (3098 m), juntamente com espectro de potência correspondente a essas profundidades.....	38
Figura 18: Derivada vertical (A e C) e Inclinação do Sinal Analítico (B e D), todos em tons de cinza, correspondendo a profundidade de 341 m e a profundidade de 3098 m, respectivamente.....	39
Figura 19: Mapa dos lineamentos magnéticos extraídos com a identificação dos domínios magnéticos.....	41
Figura 20: Comparação entre os lineamentos magnéticos interpretados e os padrões lineares seguidos pela solução de Deconvolução de Euler.....	42
Figura 21: Mapa geológico com pontos onde foram coletadas atitudes de fraturas.....	43
Figura 22: Juntas em afloramentos de campo: A) Juntas no embasamento-Unidade Canindé; B) Juntas no arenito-grupo Serra Grande; C) Juntas tipo X-Unidade Canindé e D) Juntas preenchidas por epidoto (veios)-Unidade Canindé.....	44

Figura 23: Falha em afloramentos de campo: A) Falha no embasamento - Unidade Canindé e B) Falha na Formação Pacujá.....	45
Figura 24: Diagrama de roseta com todas as medidas de atitudes de fraturas. ....	46
Figura 25: Diagramas de roseta: A) direção dos planos de fratura das rochas do embasamento (Unidade Canindé); B) direção dos planos de fratura das rochas sedimentares (Pacujá e Grupo Serra Grande).....	46
Figura 26: Mapa geológico com lineamentos extraídos do sensoriamento remoto e os diagramas de roseta relativos às unidades sedimentares (A) e às unidades do embasamento cristalino (B).....	47
Figura 27: Mapa geológico com lineamentos e domínios magnéticos.....	49
Figura 28: Diagramas de roseta: A) Lineamentos do sensoriamento remoto; B) Lineamentos magnéticos; C) Planos de fratura e D) Superposição dos diagramas.....	50
Figura 29: Diagramas de roseta das unidades do embasamento e das bacias. ....	52

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Específicos .....	13
1.2 Localização e vias de acesso.....	13
1.3 Metodologia .....	15
2 GEOLOGIA REGIONAL .....	17
2.1 A tectônica do Lineamento Transbrasiliano (LT).....	21
3 SENSORIAMENTO REMOTO .....	23
3.1 Processamento da Imagem radar SRTM-Topodata .....	23
3.2 Processamento da imagem Landsat 7 ETM + .....	26
3.3 Extração dos lineamentos .....	28
4 MAGNETOMETRIA .....	30
4.1 Tratamento dos dados .....	30
4.2 Processamento dos dados Magnetométricos.....	32
4.2.1 A aplicação dos Filtros das derivadas.....	32
4.2.2 O Gradiente Horizontal Total .....	32
4.2.3 Amplitude Sinal Analítico (ASA).....	35
4.2.4 Inclinação do Sinal Analítico (ISA).....	36
4.2.5 Deconvolução de Euler .....	36
4.2.6 Matched Filter.....	37
5 DADOS DE CAMPO.....	43
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	47
6.1 Lineamentos identificados no Sensoriamento Remoto.....	47
6.2 Dados Magnetométricos .....	48
6.3 Comparação das direções estruturais das diversas fontes.....	49
6.4 Comparação das direções nas unidades .....	51
REFERÊNCIAS .....	55



## 1 INTRODUÇÃO

O Lineamento Transbrasiliano (Schobbenhaus *et al.*, 1975) corresponde a um dos maiores exemplos de sistema deformacional transcorrente intracontinental do mundo, com mais de 5000 km de extensão no continente Sul Americano e uma complexa rede de zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis interconectadas (Fuck *et al.*, 2013). O Lineamento Transbrasiliano (LT) se estende da Argentina e Paraguai até o nordeste do Brasil, e estudos comprovam o seu prolongamento na África, onde é denominado como lineamento Kandi (Fairhead; Maus, 2003), considerado como grande corredor tectônico Transbrasiliano-Kandi (Cordani *et al.*, 2013). Na América do Sul, o lineamento é claramente visível em mosaico aeromagnético da parte central do nordeste do Brasil, formando uma série de anomalias magnéticas de altas amplitudes que podem ser traçadas atravessando o território de NE para SW (Cordani *et al.*, 2013).

No Ceará, um importante segmento do LT é denominado zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, sendo uma zona de cisalhamento transcorrente, de cinemática dextral, com direção NE-SW, caracterizada em litótipos deformados em cisalhamento dúctil, desenvolvendo uma trama milonítica que vai de protomilonitos até ultramilonitos, com recorrências em condições rúpteis (Quadros, 1996; Vauchez *et al.*, 2005).

Os dados geofísicos (Magnetometria) e de Sensoriamento Remoto (SRTM-Topodata e Landsat), são ferramentas que se apresentam úteis para reconhecimento de estruturas como o Lineamento Transbrasiliano (zona de cisalhamento Sobral-Pedro II), por isso foram aplicados para analisar as estruturas rúpteis dentro de uma área que abrange um segmento deste lineamento, visando contribuir para a caracterização da tectônica rúptil e o entendimento da evolução tectônica dessa região.

### 1.2 Objetivo Geral

Caracterizar as estruturas rúpteis associadas ao Lineamento Transbrasiliano na área em foco, através da integração de informações oriundas de sensores remotos, geofísica (magnetometria) e dados de campo.

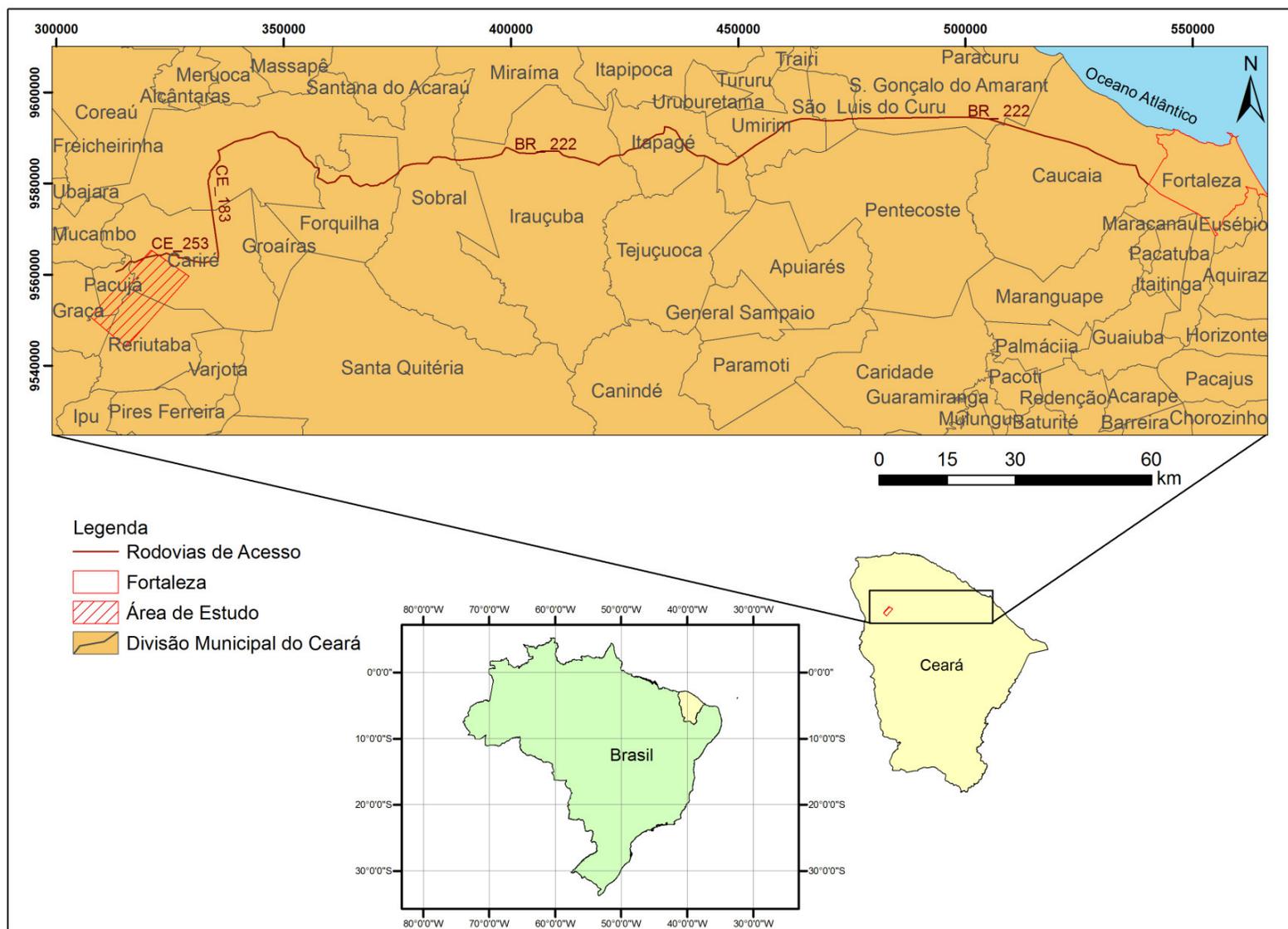
### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar as estruturas lineares da área de estudo em produtos de sensoriamento remoto e de geofísica (magnetometria);
- Gerar uma base de dados de campo através da integração de dados obtidos em campanhas de mapeamento anteriores (Projeto Transbrasiliano);
- Elaborar projeto em sistema de informação geográfica integrando dados obtidos a partir de sensores remotos, geofísica e de etapas de campo;
- Comparar os lineamentos extraídos dos produtos de sensoriamento remoto e magnetometria com os planos de fratura medidas em campo;
- Analisar o vínculo do Lineamento Transbrasiliano com as unidades das bacias Jaibaras e Parnaíba.

### **1.2 Localização e vias de acesso**

A área de estudo situa-se na região Noroeste do Estado do Ceará e abrange parte dos municípios de Cariré, Pacujá, Graça e Reriutaba (Fig. 1), com extensão de 209 km<sup>2</sup>. A partir de Fortaleza, o acesso norte à área é realizado pela rodovia federal BR-222, em direção ao município de Sobral e o restante do percurso é realizado pelas rodovias estaduais CE-183 e CE- 253.

Figura 1: Mapa de localização e acesso da área de estudo.



Fonte: Adaptado da base cartográfica do serviço geológico do Brasil-CPRM (2013).

### 1.3 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho contemplou quatro etapas envolvendo diversas atividades:

#### Etapa Inicial

Consistiu no levantamento bibliográfico e cartográfico, que contempla o contexto geológico e estrutural da área de estudo, além do contexto tectônico em que está inserido o Lineamento Transbrasiliano. Também envolveu a aquisição de imagens de sensores remotos (Radar SRTM- Topodata e Landsat 7 ETM +) e dados aerogeofísicos (magnetometria).

#### Etapa de campo

Essa etapa foi desenvolvida durante os últimos quatro anos em várias campanhas de mapeamento que ocorreram no Ceará, ao longo da extensão do LT, pelo subprojeto "Análise da Deformação Rúptil Associada ao Lineamento Transbrasiliano Impressa em Rochas do Embasamento Cristalino, Bacia do Jaibaras e Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba no Estado do Ceará", que faz parte do Projeto "Lineamento Transbrasiliano: Origem, Evolução e Influência na Sedimentação de Bacias Fanerozoicas". A área de estudo foi uma das áreas contempladas nesse mapeamento, sendo possível o reconhecimento das estruturas rúpteis, envolvendo coleta de atitudes de fraturas e a identificação das unidades geológicas afetadas.

#### Etapa de processamento

O processamento dos dados de sensores remotos e aerogeofísicos foi realizado por meio de programas destinados à entrada destes dados e úteis para a geração de imagens temáticas específicas a serem utilizadas nas interpretações futuras (OASIS MONTAJ e ENVI). Após a geração dos diferentes produtos (GRIDs aerogeofísicos e imagens de radar -SRTM ), estes foram integrados em sistema de informações geográficas (SIG) utilizando a plataforma ArcGIS 9.3, para sua análise integrada e interpretação. As etapas de processamento foram realizadas principalmente no Laboratório de Informática do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará e no Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA da Universidade de Brasília-UnB.

## Etapa Final – Análise e interpretação dos resultados

Foi realizada a integração das informações obtidas nas etapas anteriores visando analisar e comparar os resultados obtidos. Nesta etapa foram avaliados os parâmetros comuns aos resultados obtidos através dos diversos métodos, contribuindo para caracterizar a tectônica rúptil na área de estudo, com vista à confecção final do texto dessa dissertação.

Os dados de direções dos planos (fraturas mapeadas em campo) e das estruturas lineares (lineamentos extraídos dos produtos de sensoriamento remoto e magnéticos) foram estatisticamente analisados nos diagramas de roseta, elaborados com software *Rockworks15* (*RockWare Incorporated*, 1983-2012), considerando a distribuição da frequência relativa, com classes de intervalos azimutais de 15 graus, na projeção de 360 graus com exibição bidirecional.

## 2 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida na porção setentrional da Província Borborema-PB (Almeida *et al.* 1977 e 1981), que se estende por cerca de 380.000 km<sup>2</sup> na região Nordeste do Brasil. É limitada a norte e a leste por sedimentos pertencentes às bacias das margens Equatorial e Atlântica, a sul pelo Cráton São Francisco e a Oeste pela Bacia do Parnaíba. A Província Borborema é resultante da amalgamação de blocos crustais ocorrida durante a formação do Supercontinente Gondwana, na orogenia Brasileira/Pan-Africana.

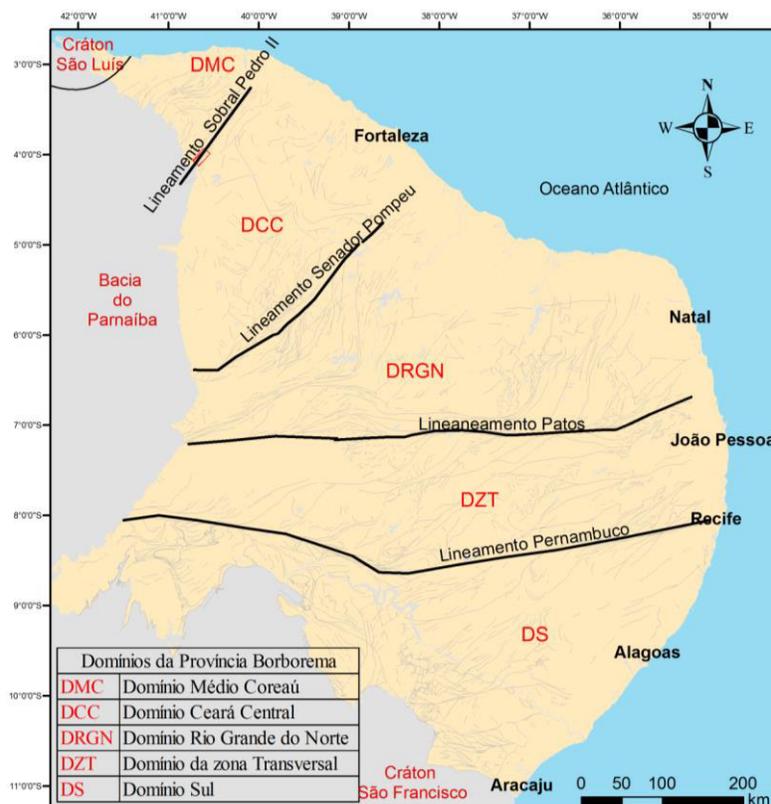
Ao decorrer dos anos, vários autores (Santos e Brito Neves 1984, Brito Neves 1983, Jardim de Sá 1994, Van Schmus *et al* 1995, Santos 1995,1996 e 2000; Santos e Medeiros 1997) propuseram subdivisão da Província Borborema em setores ou domínios tectono-estruturais. Baseados em revisões de artigos que propunham esta divisão e acrescentando novos dados geológicos e geocronológicos, Brito Neves *et al* (2000) dividiram a província Borborema em cinco domínios (Fig.2): Domínio Médio Coreaú, Domínio Ceará Central, Domínio Rio Grande do Norte, Domínio da Zona Transversal e Domínio Sul. De acordo com essa divisão a área de estudo está situada entre os Domínios Médio Coreaú e Ceará Central.

O Domínio Médio Coreaú está localizado no extremo noroeste do Ceará, a sul da margem retrabalhada do Cráton São Luis e a norte do Lineamento Transbrasiliano (Lineamento Sobral-Pedro II). De acordo com Brito Neves *et al.* (2000), esse domínio consiste de um embasamento juvenil (2,35 Ga) de rochas de alto grau metamórfico intercaladas com sequências metavulcano-sedimentares neoproterozoicas (Grupo Martinopole) e pelitos-carbonáticos (Grupo Ubajara). Granitóides de idade neoproterozoica a cambriana e rochas sedimentares Fanerozoicas que compõem as bacias Jaibaras e Parnaíba também são evidenciadas nesse domínio.

O Domínio Ceará Central, está localizado na porção central do Estado do Ceará, situado entre o Lineamento Transbrasiliano (Lineamento Sobral-Pedro II) e o Lineamento Senador Pompeu. Consiste de embasamento, de idade Arqueana/Paleoproterozoica, e encontra-se subdividido em três unidades: Complexo Cruzeta (complexo Gnaiss-migmatito), Suíte Madalena (corpos de composição tonalítica intrusivos no Complexo Cruzeta) e Unidade Algodões (paragneisses) (Arthaud, 2007). Neste domínio afloram coberturas metassedimentares Paleoproterozoicas que são agrupadas no Complexo Ceará, e expressivo plutonismo granítico

que caracteriza a orogenia Brasiliana na Província Borborema, com idades relacionadas ao final do Neoproterozoico (Brito Neves *et al.*, 2000, e Arthaud 2007).

Figura 2: Divisão da Província Borborema.



Fonte: Baseada em Brito Neves *et al.* (2000).

A área de estudo abrange porções destes dois domínios tectônico-estruturais e inclui diversas unidades litológicas (Fig. 3) de acordo com Cavalcante *et al.*, 2003:

A Unidade Canindé é a unidade do Complexo Ceará evidente na área de estudo, representada por diferentes litologias: paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, granulitos máficos, enderbitos, leptinitos, granitóides (Cavalcante *et al.*, 2003).

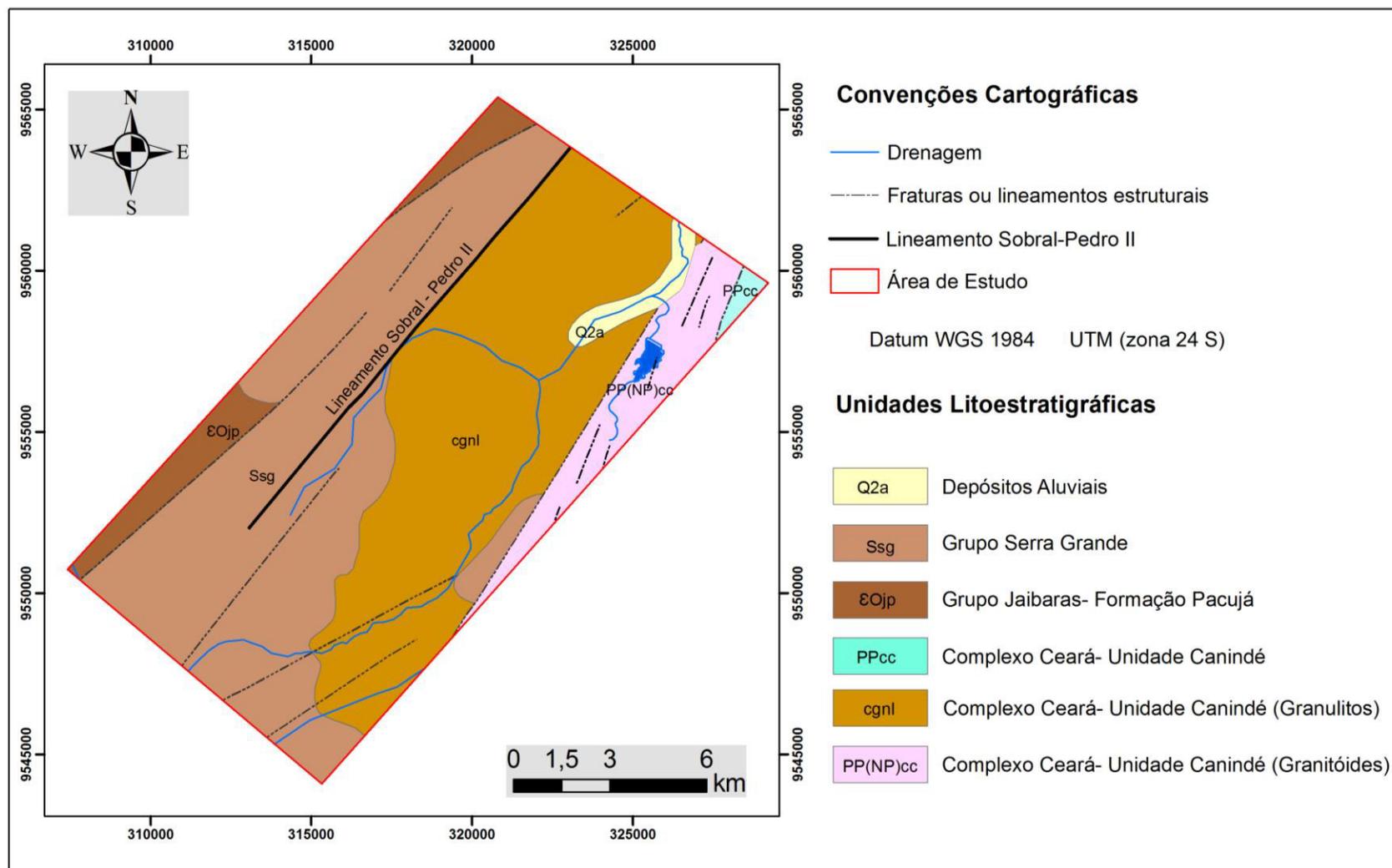
Destacam-se na área de estudo os granulitos descritos na Unidade Canindé, que correspondem a uma faixa de granulitos máficos (granada-clinopiroxênio anfíbolito) e félsicos (granulitos de composição tonalítica/ enderbitica) que aflora na região de Cariré, próximo ao

Lineamento Transbrasiliano e que foram estudadas por diversos autores (Fetter, 1999; Nogueira Neto, 2000 e Amaral *et al.*, 2011).

Grupo Jaibaras é a denominação formal para englobar a sedimentação completa da bacia de Jaibaras (ou Gráben de Jaibaras), de idade Cambro-ordoviciana. O grupo Jaibaras é constituído pelas Formações Massapê, Pacujá, Parapuí e Aprazível. A formação Massapê representa a base do Grupo sendo caracterizada por paraconglomerados polimicticos e subordinadamente por arenitos (Oliveira, 2001). A Formação Pacujá, presente na área de estudo, representa a porção distal da Formação Massapê (Gorayeb *et al.*, 1988; Quadros *et al.*, 1994), sendo composta por arenitos líticos e arcoseanos, micáceos e de granulometria variável, folhelhos e siltitos vermelhos, micáceos, leitos conglomeráticos (Cavalcante *et al.*, 2003 ). A Formação Parapuí, denominada por alguns autores como Suíte Parapuí, ocorre preferencialmente no interior do Gráben de Jaibaras na forma de derrames, diques e soleiras cortando ou intercalando as camadas das formações Massapê e Pacujá (Oliveira, 2001). Litologicamente esta unidade está constituída por basaltos, andesitos, riolitos, gabros, diabásios e dacitos. A Formação Aprazível representa o topo da sequência, é constituída por ortoconglomerados grossos e polimíticos, com matriz arcoseana (Cavalcante *et al.*, 2003).

O Grupo Serra Grande foi primeiramente denominado como Série Serra Grande (Small, 1913) englobando arenitos, conglomerados e calcários da borda oriental da Bacia de Parnaíba. Depois esse conceito foi redefinido para Formação Serra Grande por Kegel (1953), excluindo os calcários dobrados do embasamento, e enfim foi elevado a Grupo Serra Grande (Carozzi *et al.*, 1975 apud Santos e Carvalho, 2009), após ser subdividido em três formações. A Formação Mirador posteriormente renomeada Formação Ipu (Caputo e Lima, 1984) é a unidade base composta de arenitos grossos, a Formação Tianguá (Rodrigues, 1967) é a unidade média composta por folhelhos, siltitos e arenitos finos, e a Formação Jaicós constitui a unidade superior, com arenitos grossos a muitos grossos e conglomerados. O grupo Serra Grande apresenta idade siluriana (Góes e Feijó, 1994).

Figura 3: Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: Baseado em Cavalcante *et al.* (2003)

## 2.1 A tectônica do Lineamento Transbrasiliano (LT)

O Lineamento Transbrasiliano está ligado a uma tectônica transcorrente com cinemática dominante dextral na direção NE-SW de caráter deformacional dúctil e rúptil desenvolvida no final do Neoproterozoico e início do Cambriano. Posteriormente ocorreram diversas reativações com cinemática dextral e sinistral ao longo do Paleozoico e Cenozoico de acordo com diversos autores (Schobbenhaus *et al.*, 1975; Brito Neves *et al.*, 1984; Cunha, 1986; Assine e Soares, 2004; Fuck *et al.*; 2013, Santos *et al.*, 2013 e Cordani *et al.*, 2013)

De acordo com Fuck *et al.* (2013), em produtos de sensoriamento remoto e dados aerogeofísicos a expressão do lineamento representa uma faixa contínua com 100 a 200 km de largura, formando um corredor delimitado por duas grandes zonas de cisalhamento (sub) paralelas: a zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (com extensão para o sul, passando por Porto Nacional-TO, Porangatu-GO e Cocalinho-MT em um traço contínuo), e a zona de cisalhamento Senador Pompeu-CE (com prolongações em Natividade -TO e Bom Jardim de Goiás-GO). O paralelismo entre as zonas de cisalhamento dúctil citadas anteriormente sugere que representam antigas falhas geradas pela orogenia Brasileira-Pan-Africana, vinculadas à deformação desenvolvida nas paleomargens dos crátons que foram amalgamados no fechamento das bacias oceânicas. Isso é indicativo de que o LT começou a se formar quando as antigas placas já haviam colidido, no estágio tardio a pós-colisional da orogenia Brasileira-Pan-Africana (Fuck *et al.*, 2013 e Cordani *et al.*, 2013).

A maior expressão aflorante do LT ocorre em Tocantins e Goiás, na região central do Brasil, e no noroeste do Ceará, com exposição de rochas do embasamento das Bacias do Paraná e Parnaíba (Costa e Hasui, 1988). Nessa região, um feixe de zonas de cisalhamento transcorrentes paralelas, com largura média de 5-10 km, foram desenvolvidas como resposta ao expressivo encurtamento gerado no final da colisão brasileira. Zonas de transpressão, essencialmente dúcteis, com direção N50E e N30E, são evidentes. Subordinadamente ocorre tectônica transtrativa sinistral de caráter rúptil-dúctil, nas direções N-S, N70E e NW-SE (Fuck *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013).

No Ceará, a transpressão dúctil do LT é evidenciada pela foliação expressa nos gnaisses e nas rochas cálcio-silicáticas milonitizadas no Neoproterozoico, enquanto que a tectônica transtrativa sinistral, pode ser exemplificada pelas zonas de cisalhamento Groaíras, Tauá, Aracatiaçu e Tejuçuoca, com direção NW-SE (Santos *et al.*, 2013).

Ligada à reativação sob regime transtracional de estruturas pertencentes ao LT no Cambriano-Ordoviciano, ocorreu a formação da Bacia Jaíba (Brito Neves *et al.*, 1984;

Oliveira, 2001). Essa bacia denominada também por diversos autores como Gráben Jaibaras conforma uma feição alongada NE-SW, com cerca 10-20 km de largura e 120 km de comprimento (Oliveira e Mohriak, 2003), resultante da reativação frágil de descontinuidades miloníticas crustais pertencentes ao Lineamento Transbrasiliano. A tectônica extensional da Bacia Jaibaras está ligada a diversas manifestações magmáticas, tais como: o Enxame de Diques de Coreaú, que representa o estágio inicial de abertura do rifte; o alojamento do Pluton de Mucambo e do Pluton de Meruoca através do sistema distensional, e as manifestações vulcânicas (derrames basálticos, diques e sills) da Suíte Parapuí (Oliveira, 2001).

Reativações do LT também são evidentes na tectônica da evolução da Bacia do Parnaíba, no início do Paleozoico até o Pensilvaniano. O preenchimento da bacia esteve condicionado a eixos deposicionais, sendo um desses o eixo NE-SW, aproximadamente a direção do LT (Cunha, 1986).

Fraturas extensionais, com direção E-W, de caráter frágil foram desenvolvidas no Cretáceo, essas truncam e seccionam o LT, evidenciando uma relação tardia. Um exemplo destas fraturas é o Cânion do Poty (Magini *et al.*, 2013).

No Cenozoico, reativações do LT são observadas pela atividade sísmica e formação de platôs morfológicos, com geração de leques aluviais associados aos sistemas fluviais de bacias recentes (Assine e Soares, 2004).

### 3 SENSORIAMENTO REMOTO

As imagens produzidas por sensores remotos (SRTM-Topodata e Landsat 7 ETM+) foram utilizadas neste trabalho para identificação de lineamentos. Lineamentos são definidos como feições lineares mapeáveis em superfície, cujas partes estão alinhadas de modo retilíneo ou levemente curvilíneo, que diferem distintamente dos padrões de feições adjacentes e presumivelmente refletem um fenômeno de sub-superfície de acordo com O'Leary *et al.* (1976). Hobbs (1904) se refere a essas feições lineares como sendo a expressão espacial de feições morfológicas da paisagem, tais quais: (1) cristas de cordilheiras ou limites de áreas elevadas, (2) linhas de drenagem, (3) linhas de costa e (4) linhas limítrofes de formações, de tipos petrográficos de rochas ou linhas de afloramentos. Ao decorrer dos anos essas feições lineares evidenciadas nas análises de dados de sensoriamento remoto e também em dados geofísicos são associadas ao controle estrutural, relacionadas com foliação, juntas e falhas de acordo com vários autores (O'leary e Simpson (1975); Sabins (1978); Amaro e Strieder (1994) e Strieder e Amaro (1997)).

#### 3.1 Processamento da Imagem radar SRTM-Topodata

A imagem radar do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) utilizada foi a imagem pré-processada no Projeto TOPODATA (Valeriano, 2008) que disponibiliza dados refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) por krigagem. Esses dados foram separados em folhas compatíveis com a articulação 1:250.000, mantendo-se as especificações cartográficas originais, portanto, referenciados em latitude/longitude (sem projeção), com coordenadas em graus decimais e datum WGS 84 (Valeriano, 2008).

A missão SRTM, realizada pela NASA em 2000, usou como instrumento a banda C (5,6 cm de comprimento de onda) do radar de abertura sintética SIR-C/X-SAR, a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, com um arranjo projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria (Valeriano, 2004). Por meio dos dados coletados nessa missão foram produzidos modelos digitais de elevação (MDE), que, a partir de 2003, a NASA disponibilizou gratuitamente para a América do Sul.

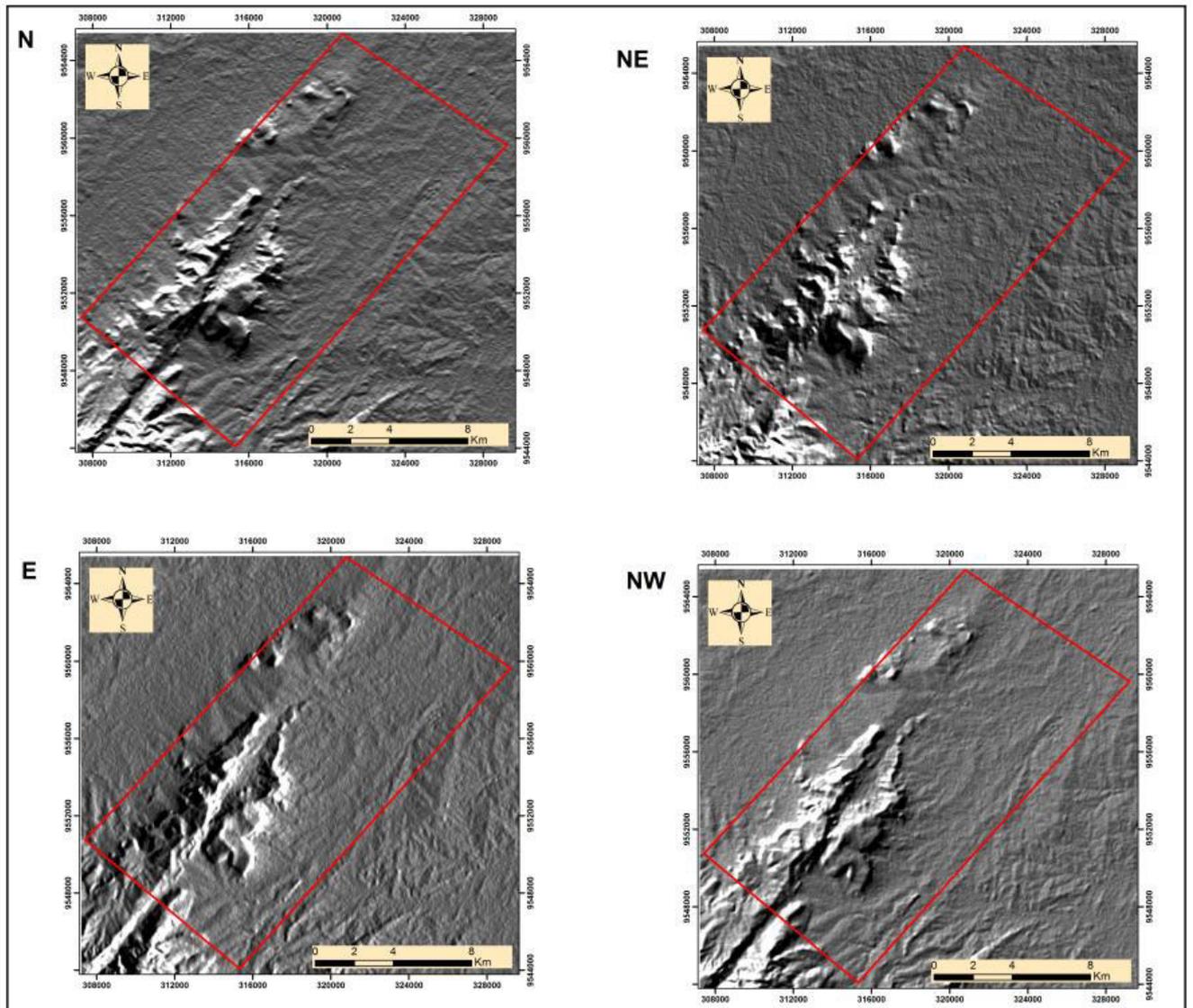
Os modelos digitais de elevação disponibilizados para o Brasil vêm passando por melhoramentos, desde 2008, com vistas a aprimoramentos e correções, desenvolvidos pelo INPE, no Projeto Topodata. Dentre as correções, encontra-se a inclusão de informações pontos/áreas anteriormente com ausência de informação, e como aprimoramento tem o refinamento do tamanho da célula (pixel) para ~ 30m, através da interpolação de todo universo de dados pelo método de krigagem (Valeriano, 2008), originando as imagens SRTM-Topodata utilizadas neste trabalho.

Para recobrir a área de interesse foram utilizadas as articulações 03S41-ZN e 04S42-ZN, sendo obtidas gratuitamente no site <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Foi necessário um processo de mosaico para junção de imagens e, posteriormente foi feito um recorte do polígono envoltório da área de estudo que foi salvo em formato *Geotiff* desenvolvido no *software* ENVI 4.8. Nessa imagem SRTM-Topodata, que recobre a área de estudo, foram utilizadas técnicas de sombreamento de relevo e extração de drenagem.

A técnica de sombreamento de relevo consiste em produzir uma sensação de sombreamento, a partir de um modelo digital de elevação. Simula-se uma iluminação artificial, através da aplicação de um filtro digital. Este filtro tem configuração dos ângulos de elevação e azimute da iluminação artificial. Assim obteve-se imagens iluminadas com ângulo de elevação 45 e com os azimutes 0, 45, 180 e 315. Esses azimutes contemplam quatro das direções principais N, NE, E e NW. (Fig. 4).

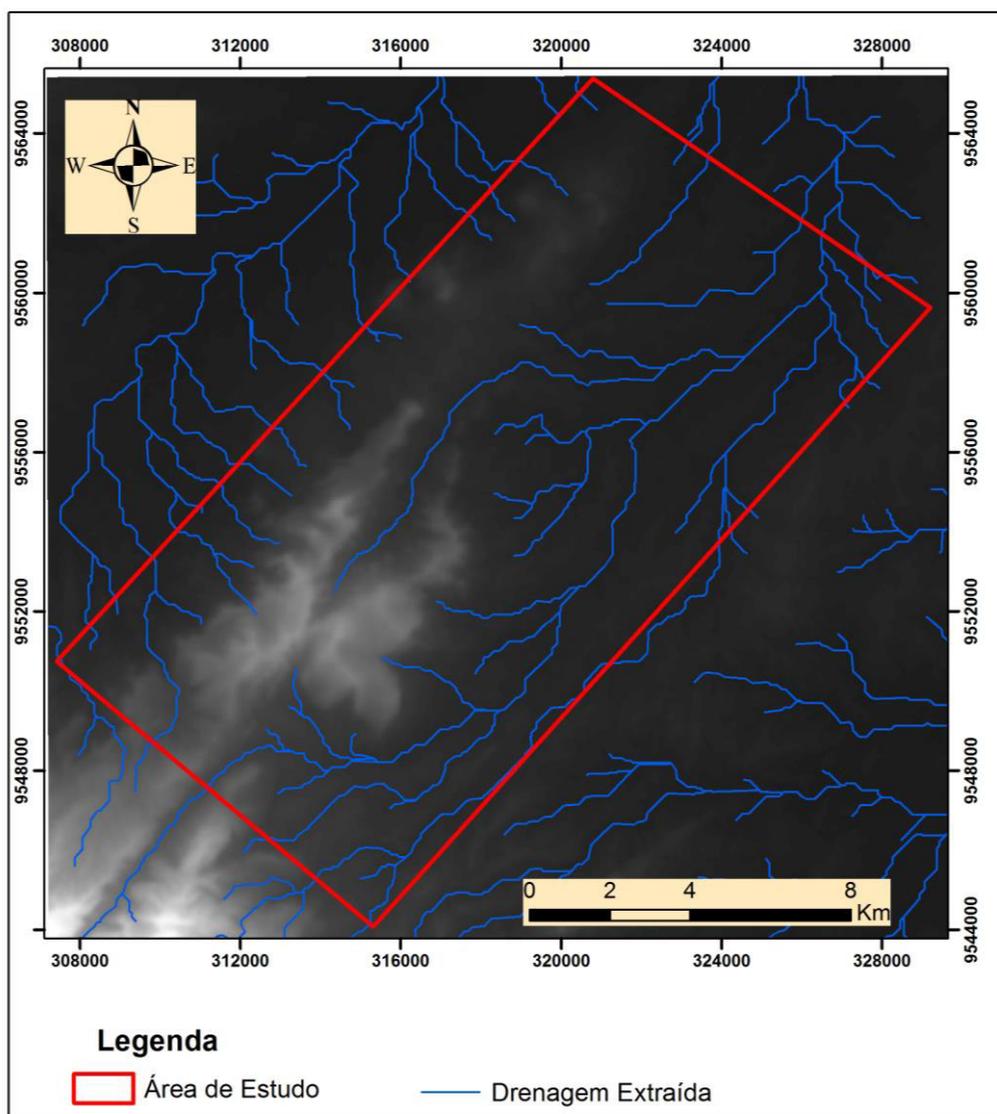
Na extração de drenagem empregou-se na imagem SRTM-Topodata, que recobre a área de estudo, os interpoladores da ferramenta *Hidrology* presentes no módulo *Spatial Analyst Tools*, disponível no ArcGIS 9.3, a fim de se obter extração automática das drenagens (Fig. 5), uma vez que existe potencial da rede de drenagem estar condicionada pelas fraturas.

Figura 4: Imagens SRTM-Topodata com sombreamento de relevo nas direções N, NE, E e NW.



Fonte: Adaptado do Topodata (Valeriano ,2008).

Figura 5: Imagem SRTM-Topodata com a drenagem extraída.



Fonte: Adaptada do SRTM-Topodata.

### 3.2 Processamento da imagem Landsat 7 ETM +

A imagem do satélite Landsat 7 ETM + (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), empregada nesse estudo faz parte da cena órbita/ponto 218/063 de 10/07/1999, disponibilizadas para *download* pelo programa *Global Land Cover Facility* (GLCF, 2000) em parceria com a NASA, em coordenadas UTM e *Datum* WGS 84.

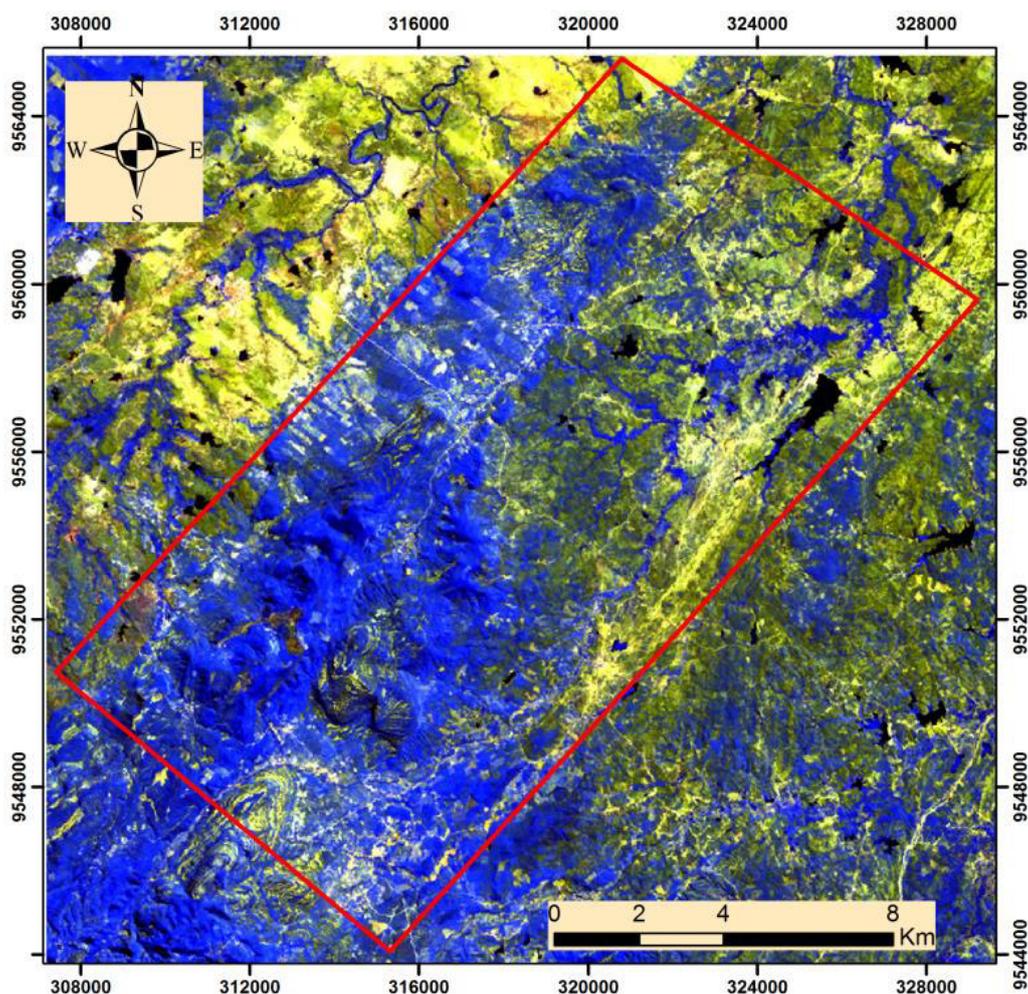
As imagens do satélite Landsat 7 ETM + apresentam sete bandas espectrais e mais uma banda pancromática. As bandas multiespectrais apresentam resolução espacial de 30 m (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7). A banda 6 (região do infravermelho termal do espectro

eletromagnético) possui resolução espacial de 60 m e a banda pancromática possui 15 m de resolução espacial.

A etapa de processamento da imagem Landsat 7 ETM+ foi desenvolvida no *software* ENVI 4.8 que permite a combinação das bandas espectrais das imagens usando o sistema de cores Red-Green-Blue (RGB). Várias composições RGB foram testadas, dentre essas se destacam as RGB 754 e 431 (Fig. 6 e 7) utilizadas para extração de lineamentos.

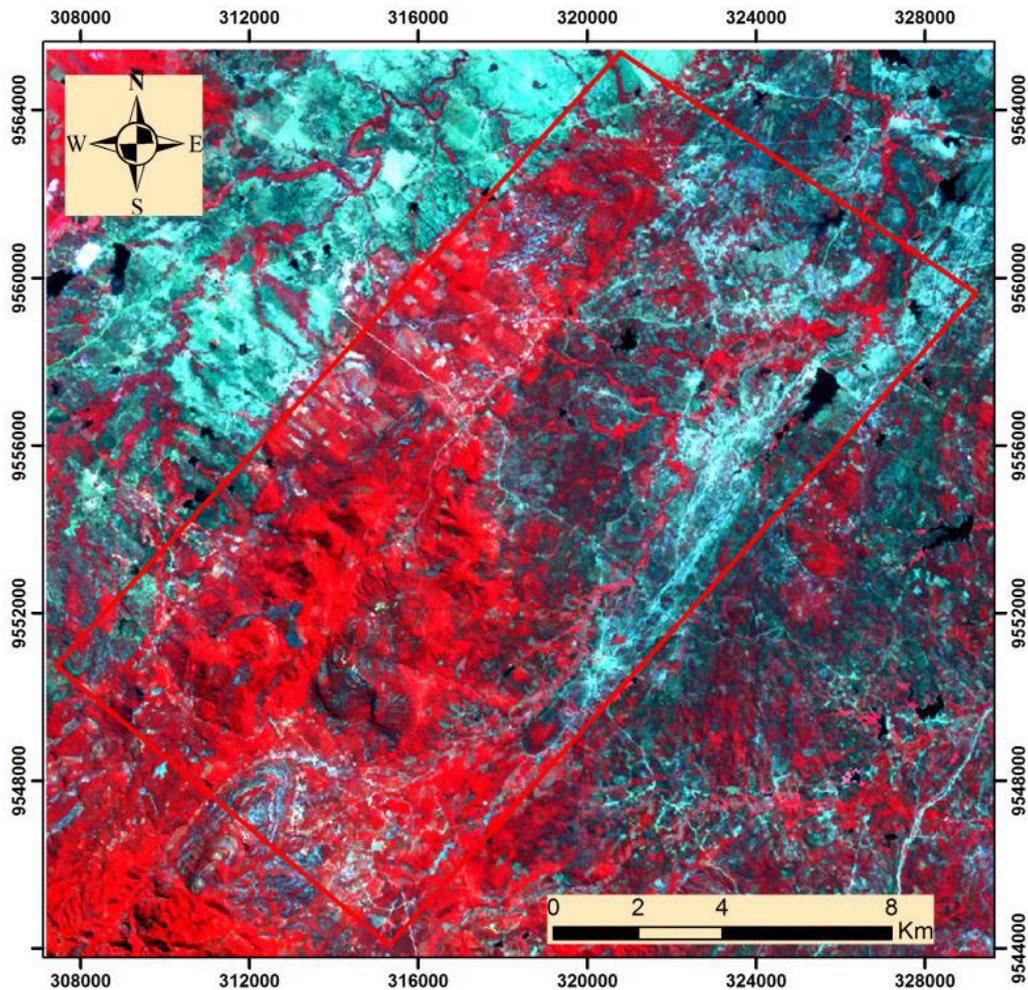
A composição RGB 754 destaca estruturas geológicas e contatos lito-estruturais, ressaltados devido às características espectrais das bandas: (7) para diferença entre os tipos de rochas e minerais; (5) para umidade do solo; e (4) para delineamento de corpos d'água. A composição RGB 431 evidenciou com melhor nitidez a rede de drenagens, ressaltada pelo vermelho intenso, resultante da combinação da banda 4 no campo de cor Red (RGB).

Figura 6: Imagem Landsat 7 ETM + com composição colorida RGB 754.



Fonte: Adaptada do Landsat 7ETM+ (GLCL, 2000).

Figura 7: Imagem Landsat 7 ETM+ com composição colorida RGB 431.



Fonte: Adaptado do Landsat 7ETM+ (GLCF, 200).

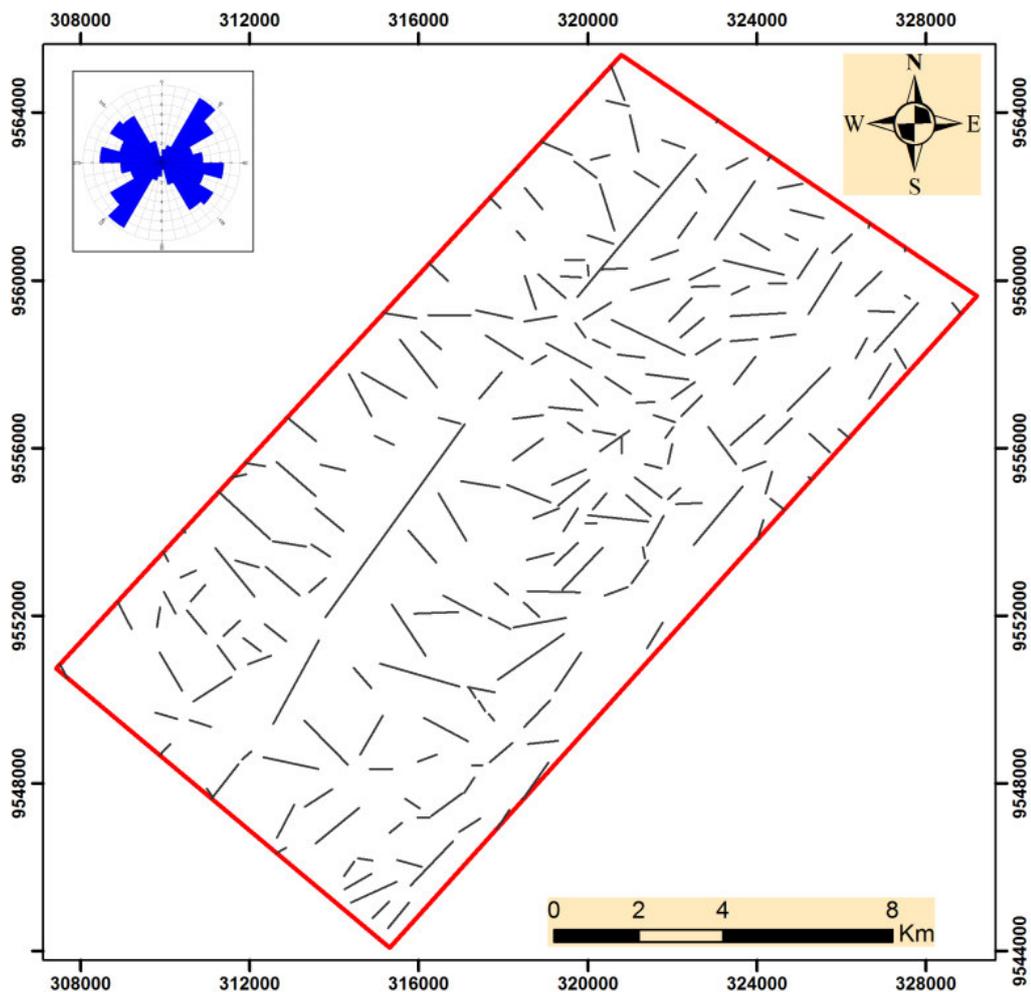
### 3.3 Extração dos lineamentos

A extração dos lineamentos foi realizada no ambiente de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) no *software* ArcGIS 9.3. Consistiu na interpretação visual dos produtos gerados a partir da imagem SRTM-Topodata (imagens com relevo sombreado e drenagem extraída) e da imagem Landsat 7 ETM+ (imagens RGB 754 e 431) de forma integrada, que permitiu a identificação dos lineamentos.

Os lineamentos interpretados visualmente foram vetorizados em *shape* de linhas, representando os lineamentos identificados do sensoriamento remoto (Fig. 8). Posteriormente, foi utilizada a ferramenta *Spatial data Modeller* (ArcGIS 9.3) que propiciou a obtenção de uma planilha com as direções das linhas vetorizadas, essas direções foram classificadas no diagrama de roseta. De modo geral, esses lineamentos interpretados

correspondem ao tipo 2 de acordo com a distinção proposta por Amaro e Strieder (1994) e Strieder e Amaro (1997), sendo o tipo de lineamento que caracteriza estruturas frágeis (falhas ou juntas), configurando feições geomorfológicas negativas retilíneas que normalmente truncam os limites litológicos.

Figura 8: Lineamentos extraídos dos produtos de sensoriamento remoto (SRTM-Topodata e Landsat 7 ETM+).



Fonte: Autor

Os lineamentos extraídos das imagens de sensoriamento remoto totalizaram 214 linhas vetorizadas, cujas direções foram plotadas em diagrama de roseta. Dentre os conjuntos de direções identificados (NE-SW, E-W, NW-SE), a direção com maior frequência é NE-SW, seguida das direções E-W e NW-SE.

## 4 MAGNETOMETRIA

Neste estudo foram utilizados dados geofísicos de aeromagnetometria. Estes são aplicados em diversos campos da ciência, dentre os quais se encontram o mapeamento geológico e a prospecção mineral (Ghazala, 1993; Blum, 1999; Schetselaar *et al.*, 2000; Mantovani *et al.*, 2005; Amaral, 2007).

A magnetometria é um método potencial que investiga a geologia com base nas anomalias do campo magnético da terra resultantes das propriedades magnéticas das rochas em subsuperfície (Kearey *et al.*, 2009)

Os dados magnetométricos empregados nesse trabalho são oriundos dos levantamentos aerogeofísicos realizados no “Projeto Aerogeofísico Norte do Ceará” e no “Projeto Aerogeofísico Novo Oriente”, projetos realizados entre os anos de 2006 a 2009, adquiridos pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, cedidos em forma de banco de dados (GDB formato Geosoft) na projeção de coordenadas planas (UTM) zona 24 S, Datum WGS 84.

Os aerolevantamentos foram realizados com linhas de voo e de controle espaçadas de 0,5 e 10 km e direção N-S e E-W, respectivamente. A altura nominal de voo de 100 metros sobre o terreno.

Todos os processamentos dos dados magnetométricos foram realizados na plataforma *Oasis Montaj 7.01* (geração de *grids*, filtragens, sombreamentos etc.) e a integração e análise final no ArcGIS 9.3.

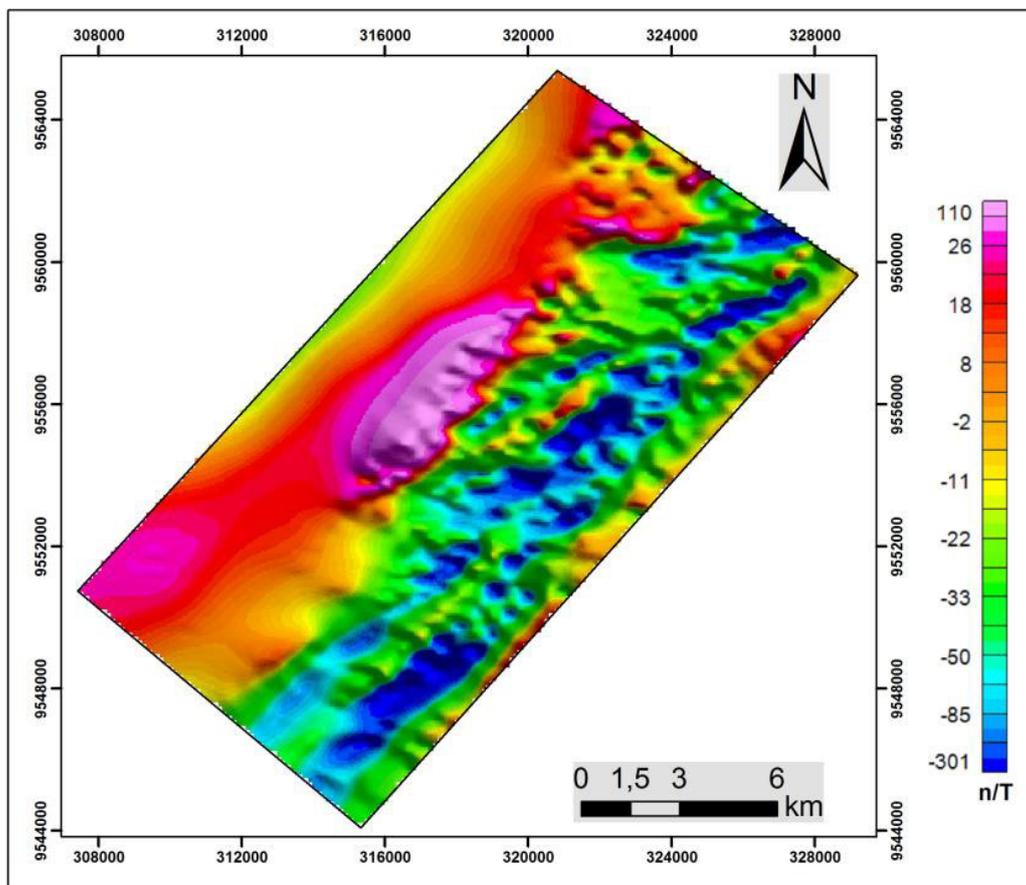
### 4.1 Tratamento dos dados

Inicialmente foram recortados dos bancos de dados magnetométricos originais (dos dois projetos) aqueles correspondentes à área de interesse, através das ferramentas disponíveis no programa *Oasis Montaj* da Geosoft, para a obtenção de dois arquivos (GDB) contendo apenas os dados que recobriam a área de estudo. Após este procedimento, foi realizada a interpolação dos dados de campo magnético total reduzido do IGRF (MAGIGRF) utilizando como método de interpolação o bi-direcional (BIGRID). Foram gerados grids individuais para cada projeto, empregando um tamanho de célula de 125 m, o qual corresponde a  $\frac{1}{4}$  do espaçamento entre as linhas de voo, sendo mais indicado para este caso de acordo com Davis (1986).

O método bi-direcional-BIGRID (Geosoft, 2013) é indicado para interpolar dados que estejam distribuídos em linhas de amostragem aproximadamente paralelas. Este método 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 utilizável para 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 (Santos, 2006).

Para obtenção de uma malha regular que recobrisse toda área de interesse foi necessária a junção dos *grids* dos projetos através da ferramenta *Gridknit* (Oasis Montaj), aplicando o método de sutura (*Suture Method*). Esse método de sutura define uma “linha sutura” para união dos *grids*, sem modificações na área restante do *grid* (Geosoft, 2010), assim obteve-se o campo magnético anômalo – CMA da área de estudo (Fig. 9).

Figura 9: Campo magnético anômalo com interpolação *Bigrig*.



## **4.2 Processamento dos dados Magnetométricos**

As etapas seguintes consistiram de aplicações de diferentes filtros com a intenção de realçar fontes magnéticas, para a geração de vários produtos importantes para auxiliar a interpretação dos lineamentos magnéticos.

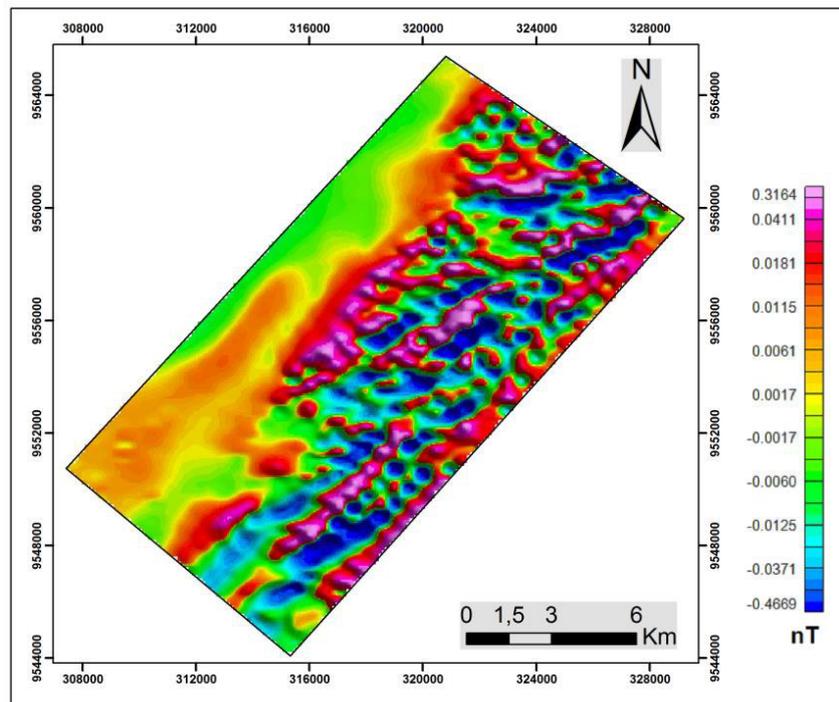
### **4.2.1 A aplicação dos Filtros das derivadas**

Os filtros das derivadas são aplicados no domínio de Fourier. Estes permitem analisar a geometria da superfície da malha regular, com base no cálculo da declividade (1° derivada) ou na razão de mudança da declividade (2° derivada). Os filtros das derivadas horizontais X (Fig. 10) e Y (Fig. 11) são usados para a geração de imagens sombreadas, no intuito de realçar os gradientes horizontais e, por conseguinte, as possíveis fontes das anomalias. Já o filtro da derivada vertical (Fig. 12) realça as bordas dos corpos na direção Z, amplifica a informação de comprimentos de ondas curtos em detrimento dos comprimentos de ondas longos. Tanto para as derivadas horizontais (x e y) como para derivada vertical foi aplicado um filtro de convolução 3x3 (Hanning) que é um filtro passa-baixa com base na média, para remover os altos números de ondas que são relacionados ao ruído.

### **4.2.2 O Gradiente Horizontal Total**

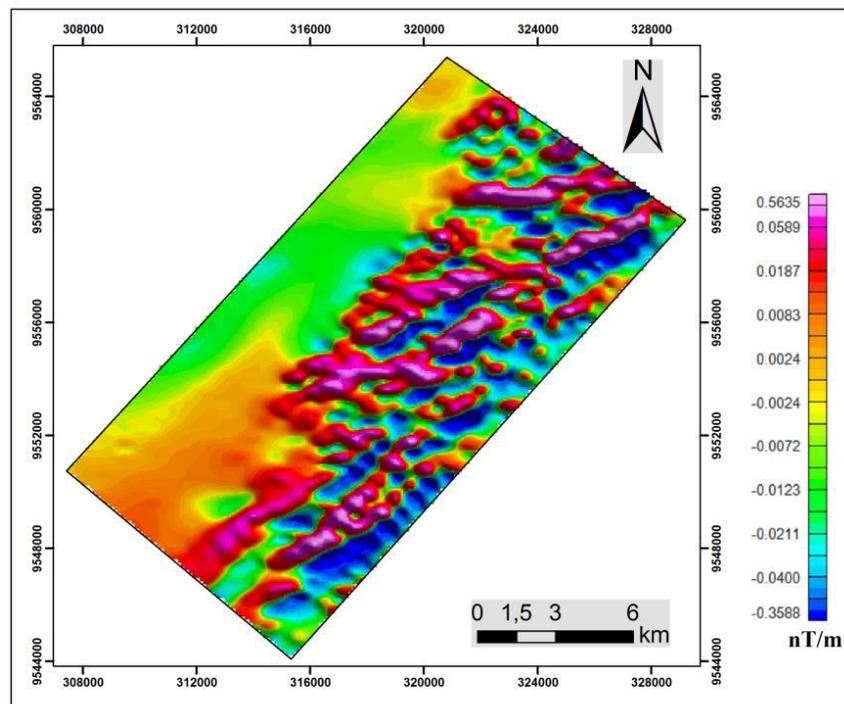
O gradiente horizontal total do campo potencial representa mudanças laterais de propriedade física, permitindo distinguir mudanças litológicas e estruturais. O gradiente horizontal (Fig. 13) é um vetor resultante da composição das derivadas horizontais nas direções x e y, sua magnitude é dada pela raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas parciais do campo potencial  $G(x \text{ e } y)$ , de acordo com a fórmula de Blackely (1996) .

Figura 10: Mapa da derivada horizontal em x do campo anômalo com filtro Hanning.



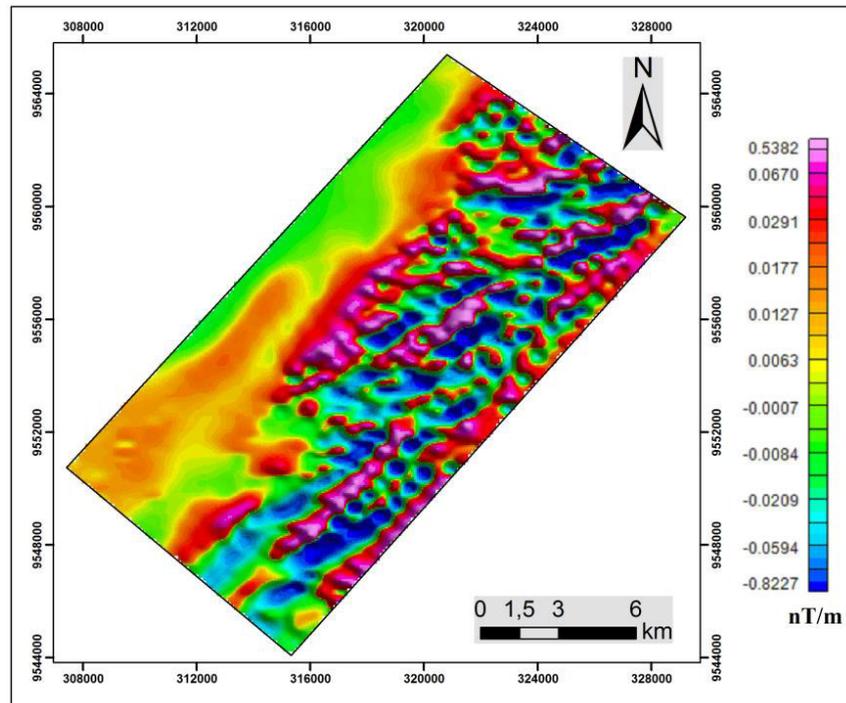
Fonte: Autor

Figura 11: Mapa da derivada horizontal em y do campo anômalo com filtro Hanning.



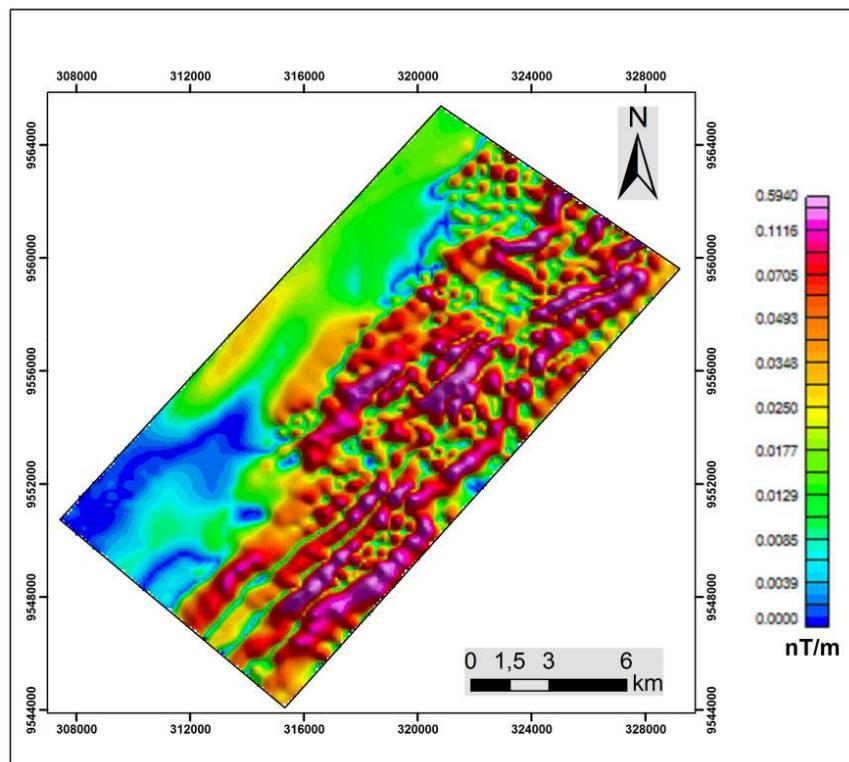
Fonte: Autor

Figura 12: Mapa da derivada vertical do campo anômalo com filtro Hanning.



Fonte: Autor

Figura 13: Mapa do gradiente horizontal total do campo anômalo com filtro Hanning.



Fonte: Autor

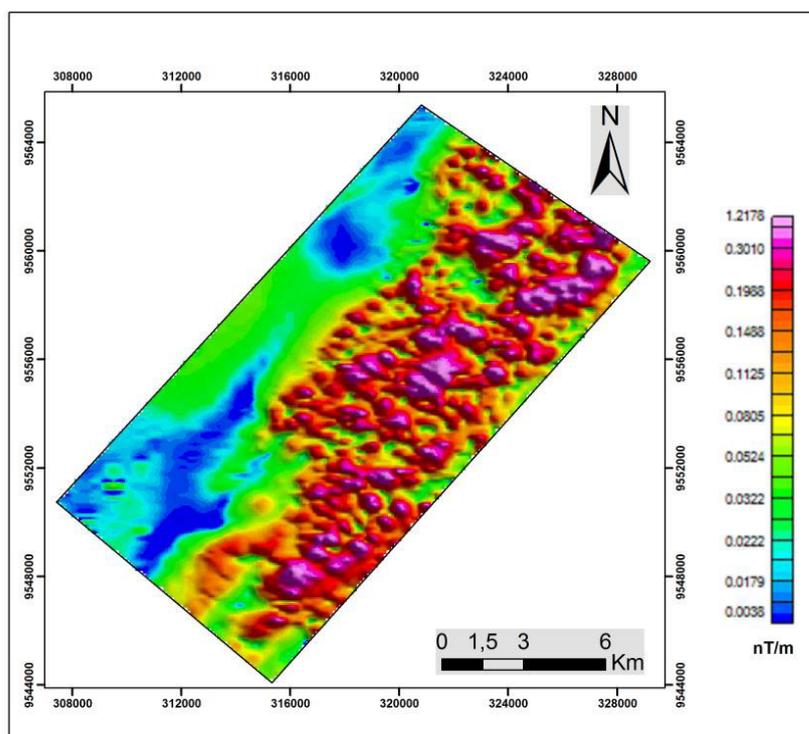
### 4.2.3 Amplitude Sinal Analítico (ASA)

O sinal analítico é obtido a partir das derivadas horizontais e vertical de anomalias de um campo potencial (Fig. 14), o qual mostra-se eficiente na determinação de parâmetros geométricos, como localização de limites (geológicos e estruturais) e profundidades de corpos (Nabighian, 1972; Blum, 1999 e Amaral, 2007).

A função amplitude do sinal analítico ou seu vetor absoluto pode ser expressa por um vetor adição de duas componentes reais nas direções  $x$  e  $y$  e uma componente imaginária na direção  $z$ . Assume-se que os corpos causadores têm magnetização uniforme e que as seções transversais de todos os corpos causadores podem ser representadas por polígonos, cuja extensão em profundidade são finitas ou infinitas. Por meio de uma simples transformação no domínio da frequência, produz-se uma função analítica cuja parte real é a derivada horizontal do campo e a parte imaginária é a derivada vertical (Nabighian, 1972).

Essa função está relacionada à amplitude de magnetização, correspondendo a uma função simétrica com formato de sino (*bell shaped*), a qual se maximiza exatamente sobre os contrastes de magnetização, com a largura da curva de amplitude se relacionando diretamente com a profundidade do contraste magnético.

Figura 14: Mapa da amplitude do sinal analítico do campo anômalo.

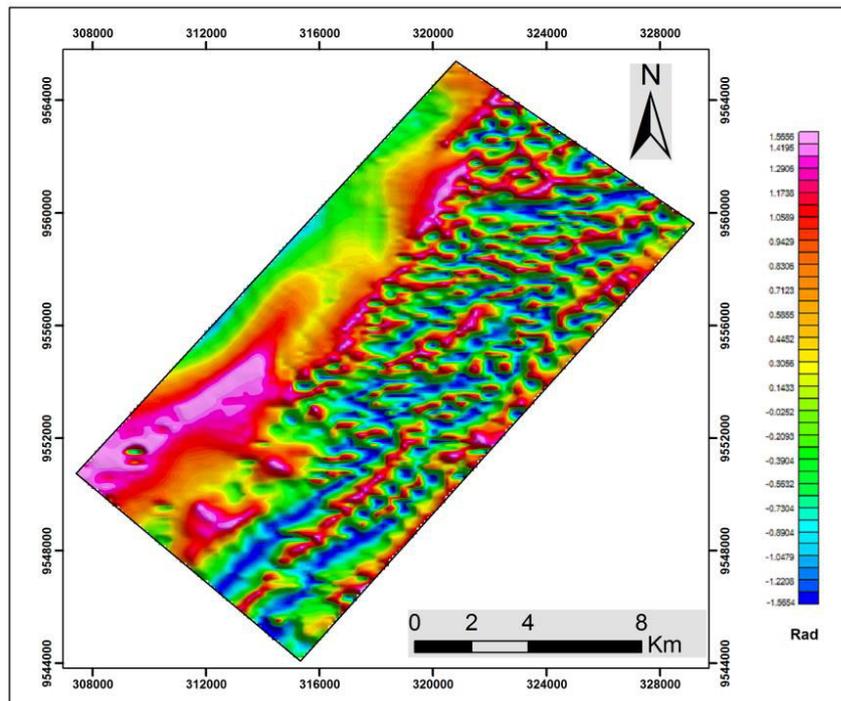


Fonte: Autor

#### 4.2.4 Inclinação do Sinal Analítico (ISA)

A inclinação do sinal analítico (Fig. 15) é definida pelo ângulo formado entre os vetores imaginários da primeira derivada em  $z$ , pelos vetores reais da primeira derivada em  $x$  e  $y$ . Essa inclinação permite realizar a estimativa da profundidade, do mergulho e do contraste de susceptibilidade das fontes causadoras de anomalias (Thurston e Smith, 1997).

Figura 15: Mapa da inclinação do sinal analítico do campo anômalo.



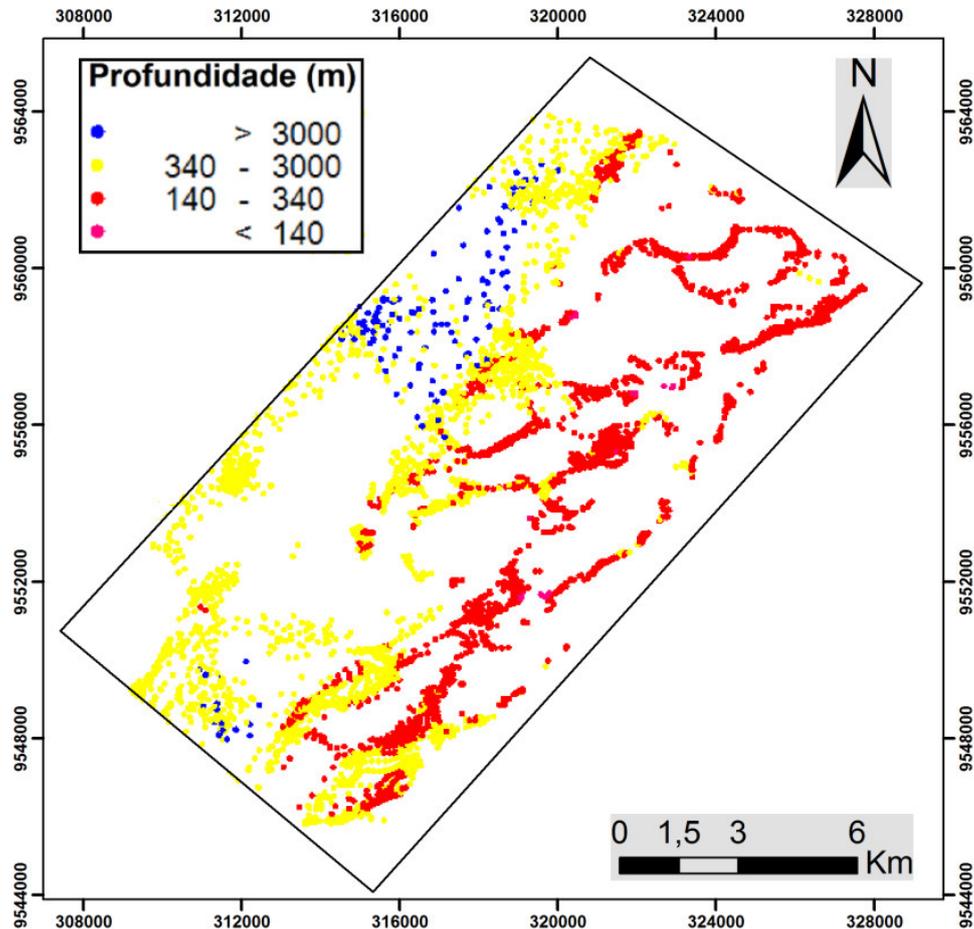
Fonte: Autor

#### 4.2.5 Deconvolução de Euler

A Deconvolução de Euler é uma técnica usada como ferramenta quantitativa para estimar a posição horizontal e profundidades das fontes magnéticas ou gravimétricas (Thompson 1982, Reid *et al.* 1990). As soluções da Deconvolução de Euler são estimadas para grupos de índices estruturais, que expressam a relação de homogeneidade da equação. Os diferentes índices estruturais aliados às posições estimadas podem identificar e caracterizar uma grande variedade de estruturas geológicas, como contatos, foliações, falhas, diques, soleiras, *pipes*, intrusões (Reid *et al.*, 1990, Gonçalves *et al.*, 2005). Utilizando-se a ferramenta de Deconvolução de Euler disponível na plataforma *Oasis Montaj* da GEOSOFT,

as soluções foram obtidas para o índice estrutural 1 (Fig. 16), sendo esse relacionado com diques, falhas e soleiras.

Figura 16: Deconvolução de Euler para o índice estrutural 1.



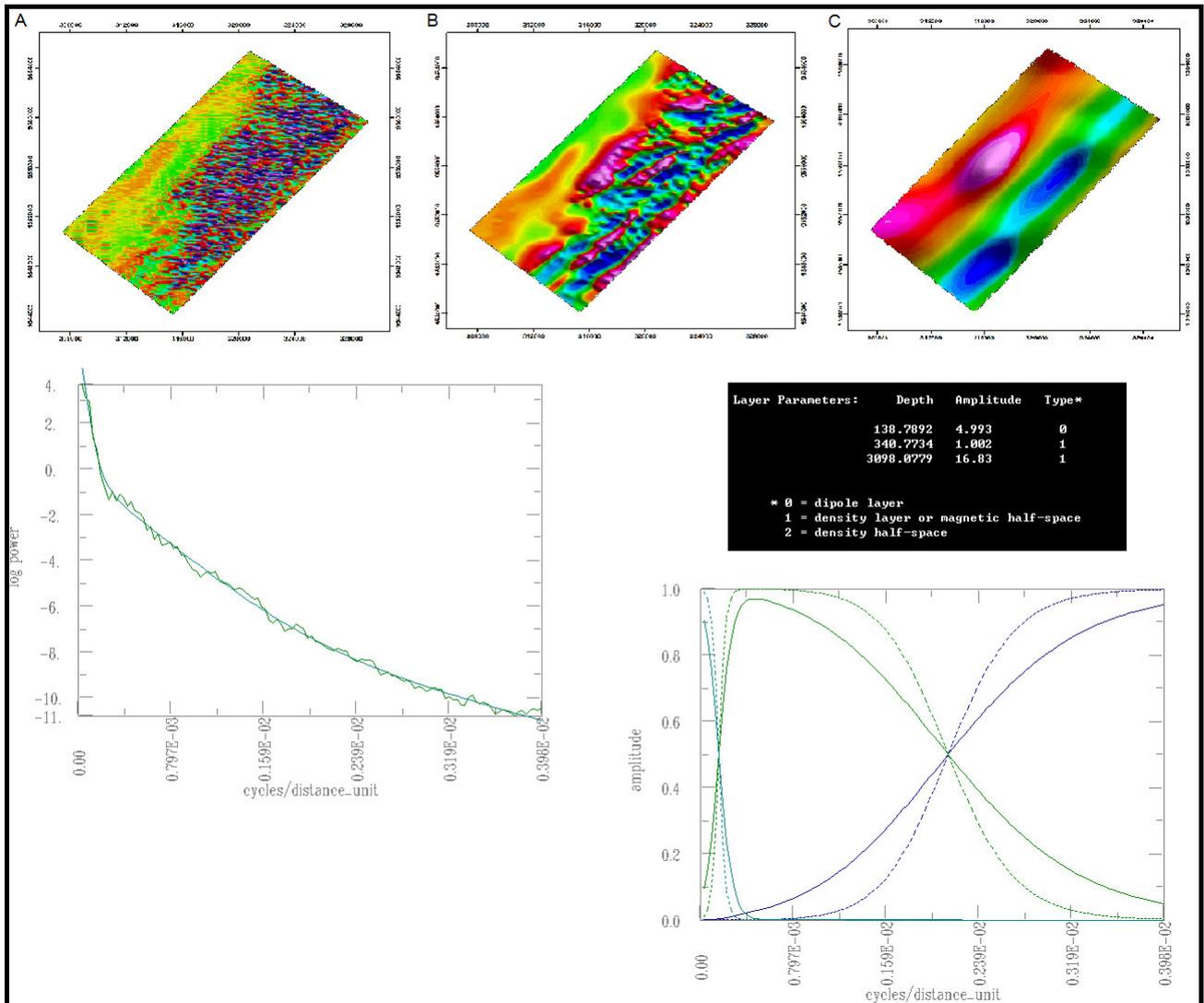
Fonte: Autor

#### 4.2.6 Matched Filter

O *matched filter* desenvolvido por Syberg (1972) e depois aprimorado por Phillips (1997), consiste em um filtro passa-banda, também aplicado no domínio de Fourier, que serve para diferenciar profundidades das anomalias dos dados do campo potencial, utilizando o espectro de potência. A aplicação desse filtro permitiu a geração de *grids* do campo magnético anômalo para as profundidades encontradas, representando a profundidade mais rasa (superficial), intermediária e a mais profunda. Neste estudo obtiveram-se as profundidades aproximadas de 139, 341 e 3098 metros, ou seja, rasa, intermediária e profunda, respectivamente (Fig. 17). Considerou-se que o resultado do produto mais raso,

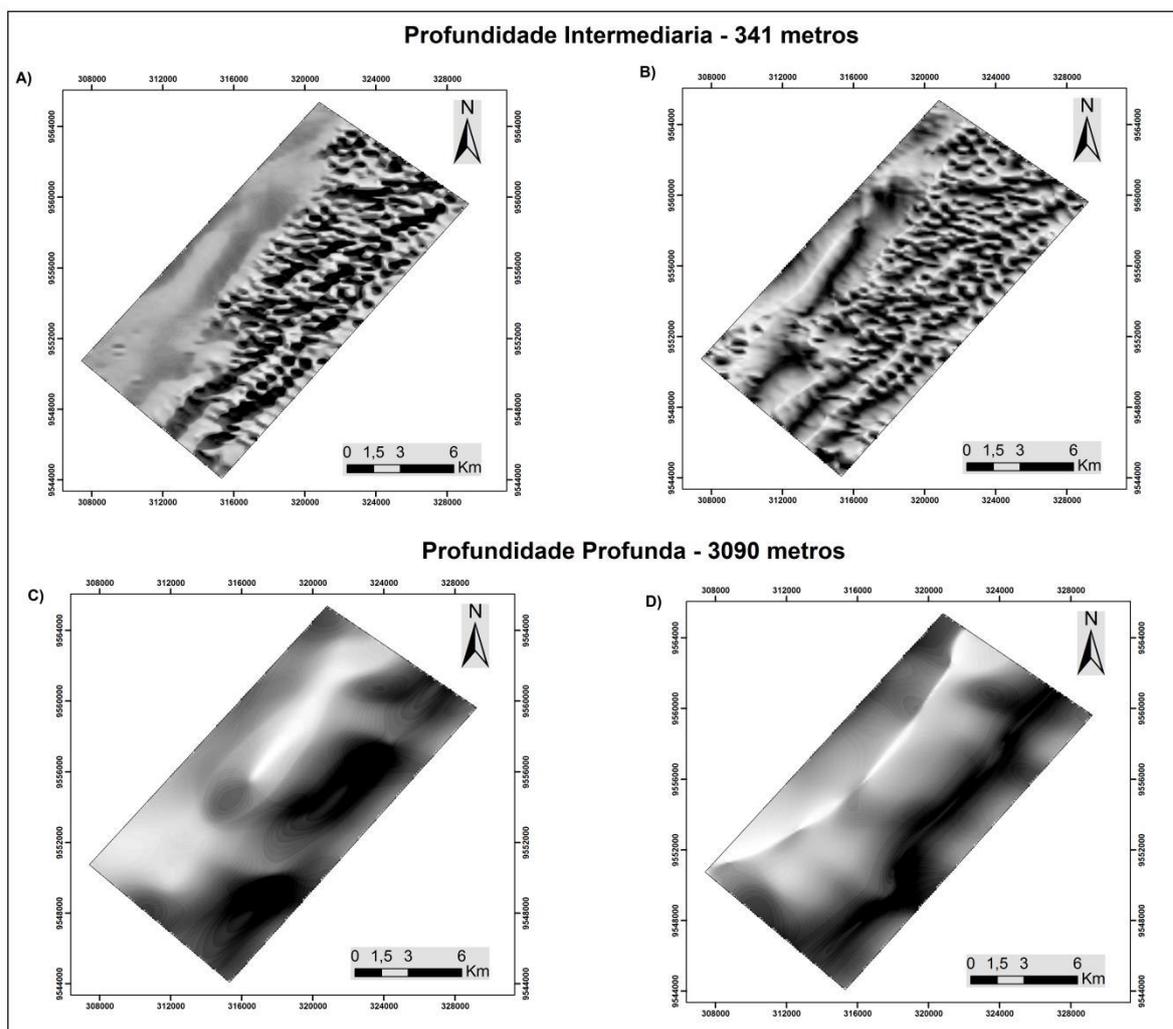
139 m, pode estar relacionado a ruídos, portanto, este produto não foi utilizado. Os grids de profundidade intermediária e profunda também passaram por processos de aplicação de filtros resultando em produtos da derivada vertical e o ISA (Fig.18).

Figura 17: Campo magnético anômalo em A na profundidade rasa (139 m), em B intermediária (341 m) e em C profundo (3098 m), juntamente com espectro de potência correspondente a essas profundidades.



Fonte: Autor

Figura 18: Derivada vertical (A e C) e Inclinação do Sinal Analítico (B e D), todos em tons de cinza, correspondendo a profundidade de 341 m e a profundidade de 3098 m, respectivamente.



Fonte: Autor

### 4.3 Interpretação dos Dados Magnetométricos

A interpretação dos dados magnetométricos envolveu a integração dos produtos obtidos na etapa anterior, e através de análise qualitativa foi possível identificar domínios magnéticos e lineamentos magnéticos (Fig. 19).

Os domínios magnéticos foram identificados nos produtos CMA e ASA, estes produtos permitiram a distinção de dois domínios magnéticos, denominados por domínio A e domínio B.

O Domínio A apresenta anomalias positivas que atingem 110 nT, dispostas de forma alongada na direção NE-SW. Apresenta ainda, ausência de lineamentos magnéticos. As anomalias positivas identificadas representam fontes profundas, pois são facilmente

reconhecidas no campo magnético anômalo de maior profundidade (3098 m, Fig. 17-c), mantendo o mesmo formato. Os resultados da Deconvolução de Euler também sugerem essa relação de profundidade, com soluções de mais profundas (>3000 metros) concentradas nesse domínio.

No Domínio B predominam anomalias com valores negativos que atingem -301 nT do Campo magnético anômalo e altas frequências. Estas anomalias estão distribuídas de forma alongada na direção NE-SW. Conforme pode ser visualizado no ASA, este domínio é segmentado em três seções, e as anomalias apresentam deslocamento na direção NW-SE. Nesse domínio é identificada alta densidade de lineamentos magnéticos.

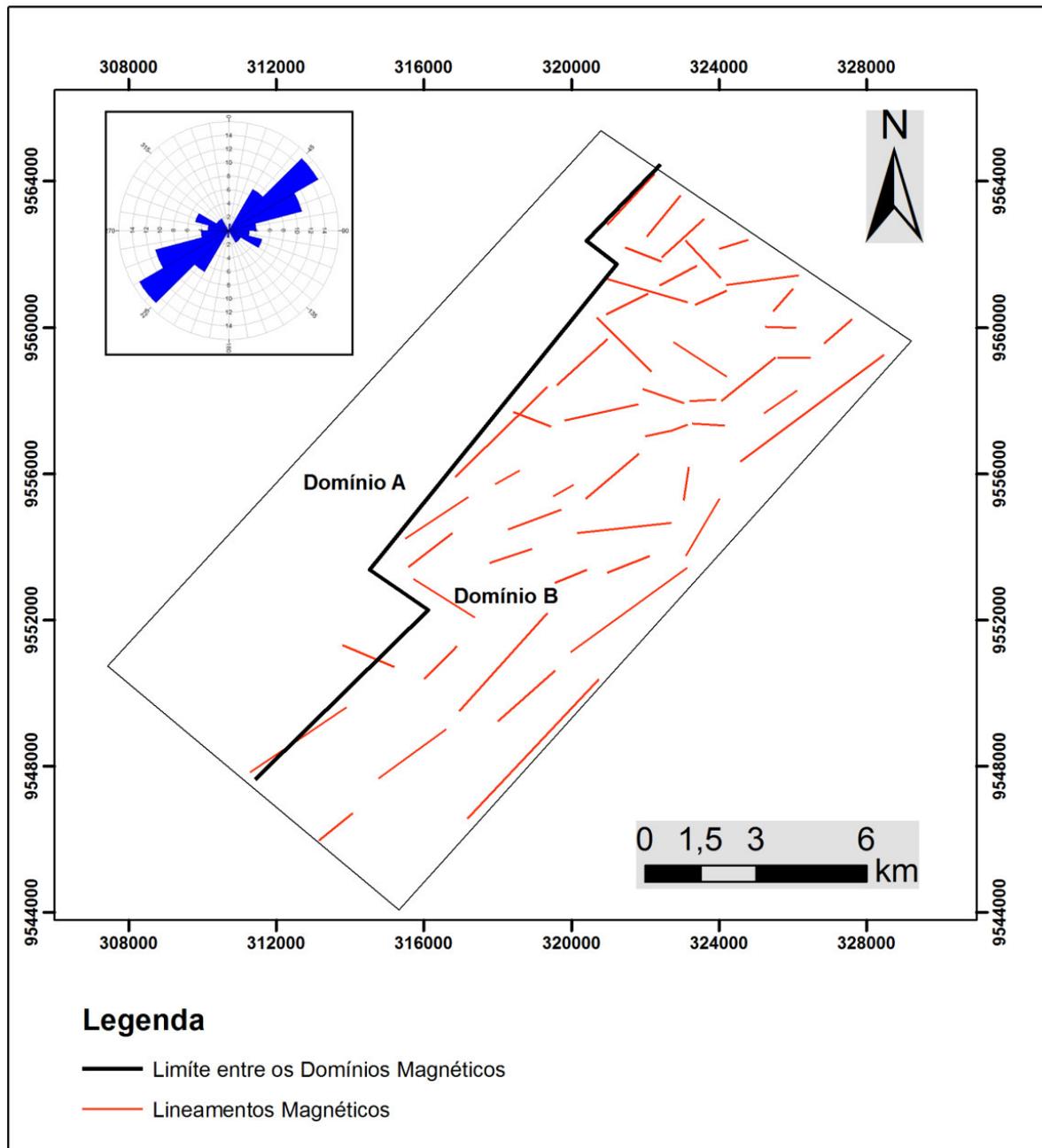
Os lineamentos magnéticos foram traçados com base nas derivadas horizontais (x e y) e vertical (z), inclinação magnética (ISA) e gradiente horizontal. Estes tiveram suas profundidades investigadas através da Deconvolução de Euler e dos produtos originários da aplicação *matched filter*.

Os lineamentos magnéticos identificados se concentram no domínio B, apresentando uma direção preferencial NE-SW (entre N 50 e N 65). Outras direções são observadas em menores proporções: NW-SW, E-W e N-S. Na porção sul, os lineamentos magnéticos apresentam-se de maneira homogênea, em termos de direção preferencial, diferente das porções central e norte da área que têm um comportamento heterogêneo.

Os lineamentos magnéticos identificados são mais evidentes nos produtos de profundidade intermediária (ISA e DV, Fig. 18), mantendo o mesmo posicionamento e direção. Nos produtos de maior profundidade é identificado apenas um lineamento magnético localizado próximo aos limites dos domínios.

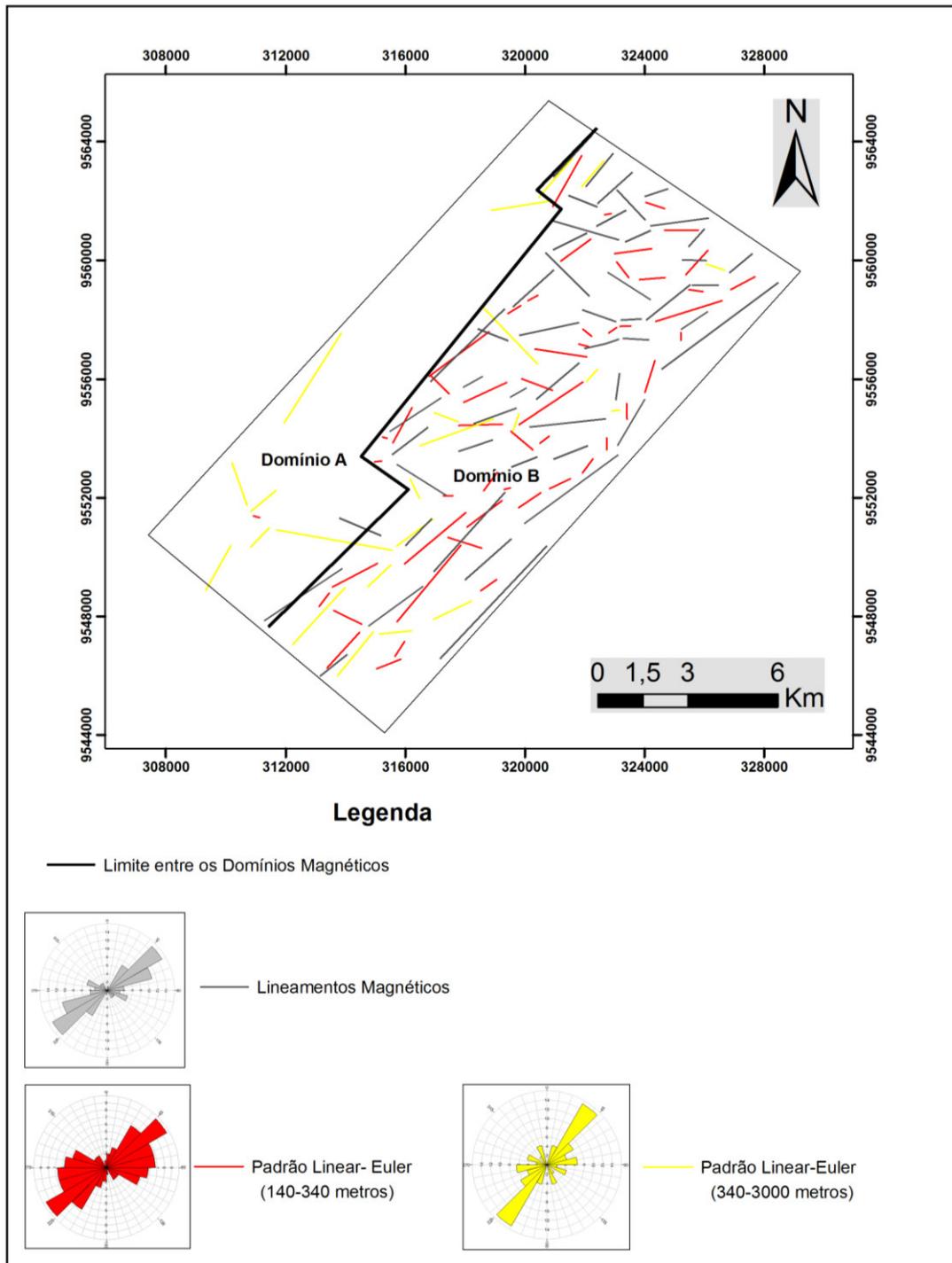
Na solução da Deconvolução de Euler identificam-se alguns padrões lineares, para profundidades estimadas nos intervalos de 140-340 metros e 340-3000 metros e tiveram suas direções plotadas no Diagrama de roseta (Fig. 20). Os padrões lineares referentes aos intervalos de profundidades citados anteriormente mantêm a direção preferencial (NE-SW), diferenciando apenas no posicionamento angular, no caso dos padrões 340-3000 metros de profundidades que indicam 30- 45° a direção com maior frequência de direção.

Figura 19: Mapa dos lineamentos magnéticos extraídos com a identificação dos domínios magnéticos.



Fonte: Autor

Figura 20: Comparação entre os lineamentos magnéticos interpretados e os padrões lineares seguidos pela solução de Deconvolução de Euler.

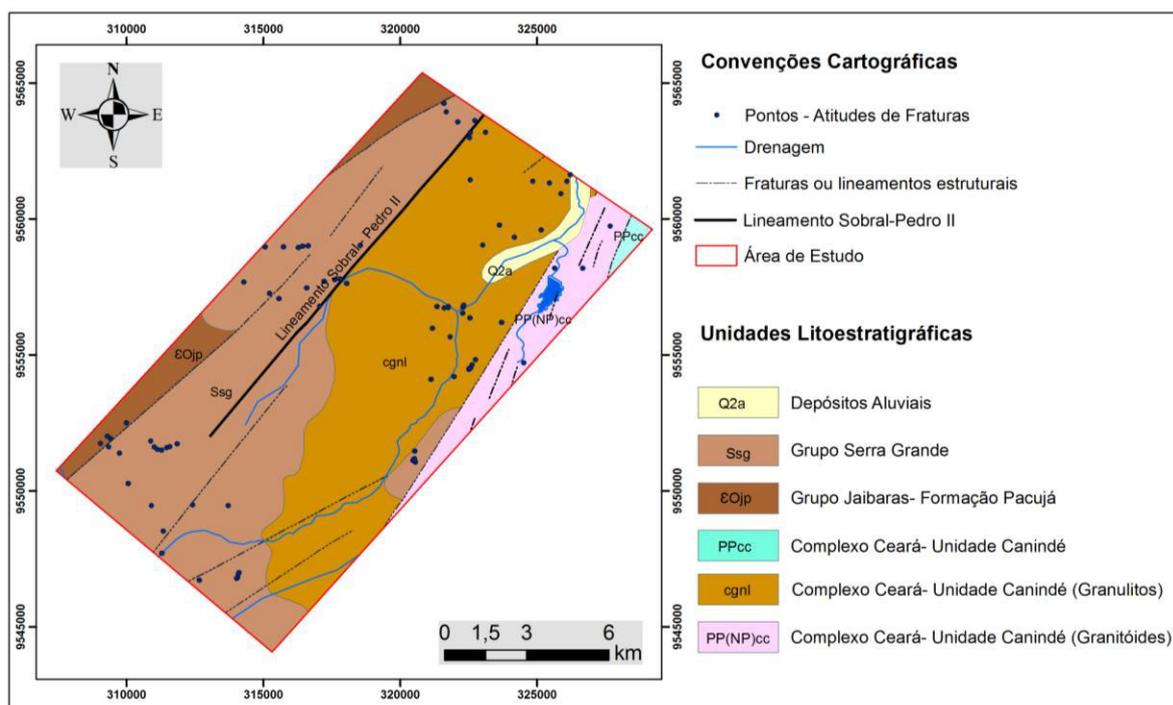


Fonte: Autor

## 5 DADOS DE CAMPO

Os dados de campo são originários do mapeamento promovido pelo subprojeto: Análise da Deformação Rúptil Associada ao Lineamento Transbrasiliano Impressa em Rochas do Embasamento Cristalino, Bacia do Jaibaras e Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba no Estado do Ceará, realizado em várias etapas, em diferentes regiões que abrangem o Lineamento Transbrasiliano no Ceará. Este mapeamento incluiu a medição de atitudes de fraturas em afloramentos localizados na área em estudo, possibilitando a elaboração de um banco de dados com essas medidas que serviram de base para análise da tectônica rúptil. Em total obtiveram-se 329 medidas de atitudes de fraturas (juntas e falhas) que afetam os diferentes tipos litológicos distribuídos ao longo da área (Fig. 21).

Figura 21: Mapa geológico com pontos onde foram coletadas atitudes de fraturas.

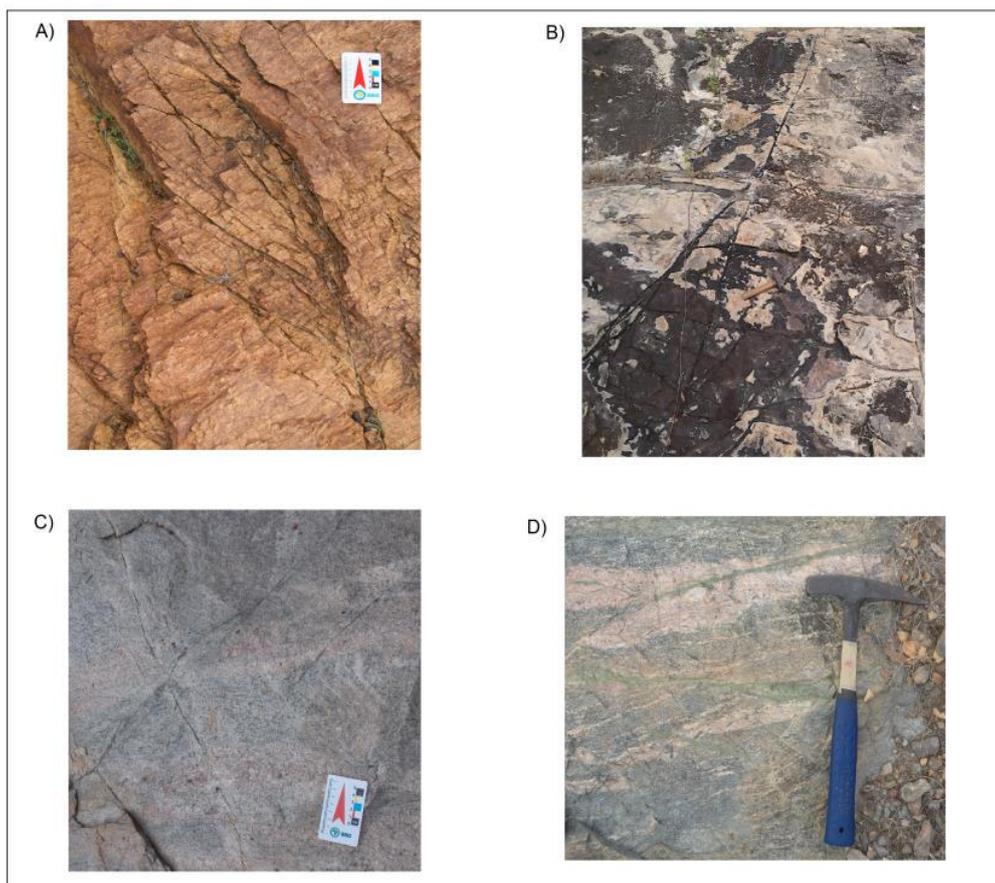


Fonte: Adaptado de Cavalcante *et al.*, 2003.

As juntas caracterizam-se por planos de ruptura isolados ou em conjuntos, preenchidos ou não, com grau de penetrabilidade variável nos maciços. Seccionam tanto as rochas do embasamento (granulito e gnaisses – Unidade Canindé) quanto as rochas sedimentares (Formação Pacujá – Bacia do Jaibaras; arenitos e arenitos conglomeráticos – Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba). Nas rochas do embasamento, os traços dos planos,

em exposição vertical, são mais curtos e com menor espaçamento entre si. Já nas rochas sedimentares, em ambas as bacias, as fraturas têm maior comprimento e são mais espaçadas (Fig. 22 a e b). São também bastante comuns os planos conjugados. Observando-se com frequência dos tipos V e X (Fig. 22 c). Os preenchimentos, quando observados, são de quartzo ou epidoto (Fig. 2 d), este último predominante.

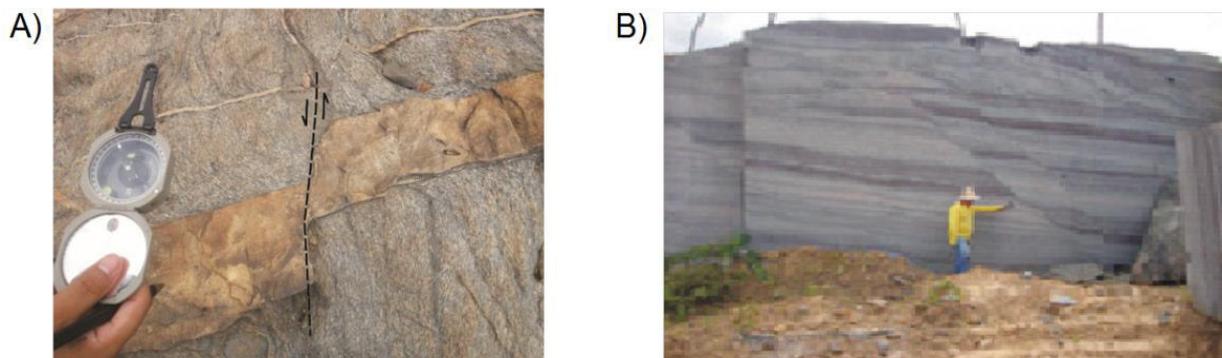
Figura 22: Juntas em afloramentos de campo: A) Juntas no embasamento-Unidade Canindé; B) Juntas no arenito-grupo Serra Grande; C) Juntas tipo X-Unidade Canindé e D) Juntas preenchidas por epidoto (veios)-Unidade Canindé.



Fonte: Autor

As falhas são reconhecidas em escalas variadas e afetam tanto rochas do embasamento quanto rochas sedimentares (Fig. 23). Com relação a estas últimas, é possível verificar o controle das falhas na sedimentação e na deformação destas rochas em fase posterior. Os movimentos ao longo dos planos de falha são marcados principalmente pelo deslocamento de níveis sedimentares.

Figura 23: Falha em afloramentos de campo: A) Falha no embasamento - Unidade Canindé e B) Falha na Formação Pacujá.



Fonte: Autor

### 5.1 Análise dos padrões de fraturas em campo

As direções dos planos das fraturas identificadas em campo foram analisadas no diagrama de roseta, com intuito de caracterizar o padrão do fraturamento na área de estudo e promover uma comparação com direções dos lineamentos extraídos dos dados de sensoriamento remoto e dos dados geofísicos.

No diagrama das direções dos planos de fratura (Fig. 24) é possível reconhecer algumas orientações preferenciais. Dentre as orientações evidenciadas, a de maior frequência está posicionada nos quadrantes ENE-WSW (entre 045 az e 060 az). No quadrante noroeste podem ser destacadas outras orientações com frequências relativamente altas: NNW-SSE (entre 315 az e 330 az) e WNW-ESE (entre 285 az e 300 az).

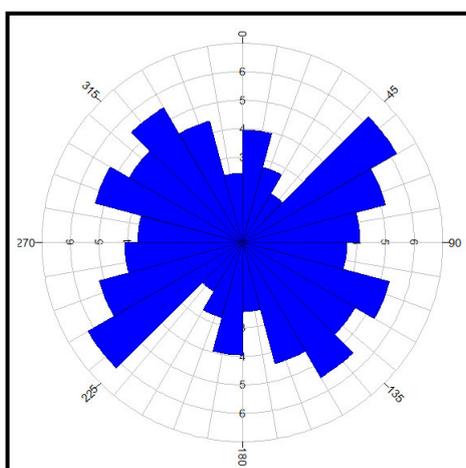
As direções dos planos de fratura foram analisadas separadamente, diferenciando as fraturas que afetam as unidades litológicas do embasamento e das bacias sedimentares de acordo com o mapa geológico do Ceará (Cavalcante *et al.*, 2003).

As fraturas identificadas no embasamento (granulitos e gnaisses da Unidade Canindé) totalizam 92, correspondendo a 30% do total das atitudes de fraturas que afetam os afloramentos da área. As direções dos planos dessas fraturas no diagrama de roseta (Fig. 25 A) indicam que a orientação preferencial é próxima a N-S (entre 000 az e 015 az), seguida pelas orientações ENE-WSW (entre 045 az e 060 az) e WNW-ESE (entre 300 az e 315 az), ambas apresentando o mesmo percentual de frequência. Adicionalmente, nos quadrantes

NW-SE também é evidenciada outra orientação (entre 285 az e 300 az) que apresenta uma frequência relativamente alta (maior que 5%).

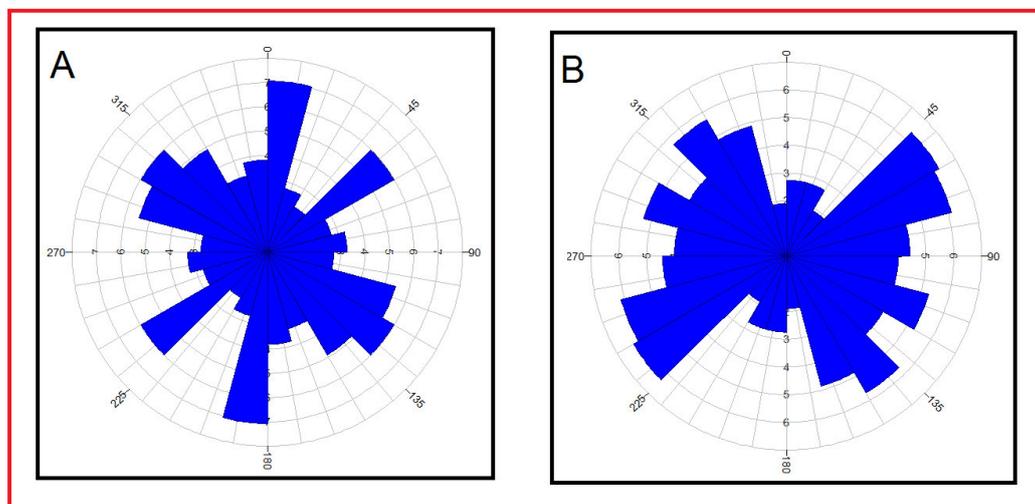
Nas coberturas sedimentares das Bacias Jaibaras (Formação Pacujá) e Parnaíba (Grupo Serra Grande), foram identificadas em campo 237 fraturas, correspondendo a 70% das medidas de atitudes de fraturas na área. As direções dos planos dessas fraturas no diagrama de roseta (Fig. 25 B) evidenciaram a orientação preferencial ENE-WSW, com as maiores frequências entre 045 az e 075 az, seguida das orientações NNW-SSE (entre 315 az e 330 az); WNW-ESE (entre 285 az e 300 az) com percentuais de frequência próximos.

Figura 24: Diagrama de roseta com todas as medidas de atitudes de fraturas.



Fonte: Autor

Figura 25: Diagramas de roseta: A) direção dos planos de fratura das rochas do embasamento (Unidade Canindé); B) direção dos planos de fratura das rochas sedimentares (Pacujá e Grupo Serra Grande).



Fonte: Autor

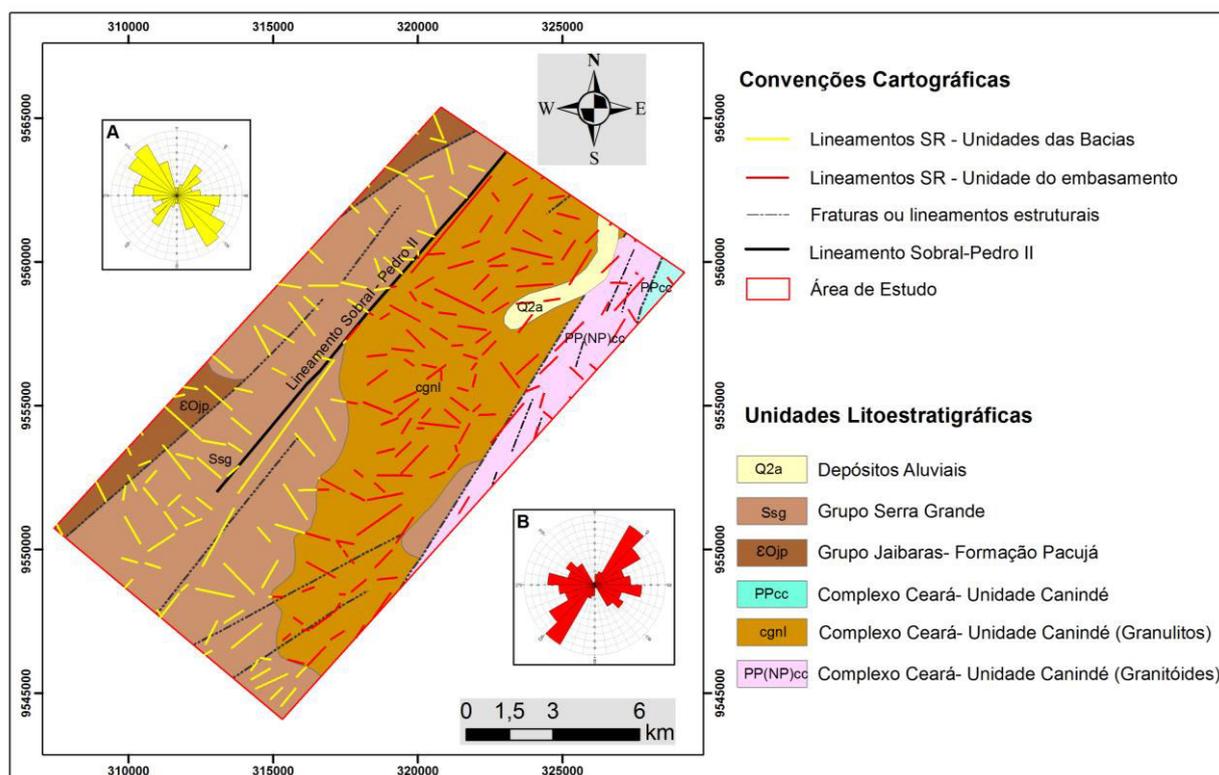
## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1 Lineamentos identificados no Sensoriamento Remoto

O Lineamento Transbrasiliiano, na área de estudo (Lineamento Sobral-Pedro II), é bem marcado nos produtos de sensoriamento remoto, através dos lineamentos de maiores comprimentos, na direção NE-SW. Entretanto, algumas estruturas (fraturas e lineamentos) representadas no mapa geológico de Cavalcante *et al.* (2003) não foram identificados nestes produtos.

Os lineamentos assim como os dados de campo (capítulo 5), foram analisados separadamente, no diagrama de roseta, diferenciando lineamentos que afetam as unidades litológicas das bacias sedimentares e do embasamento de acordo com o mapa geológico do Ceará (Cavalcante *et al.*, 2003) (Fig. 26).

Figura 26: Mapa geológico com lineamentos extraídos do sensoriamento remoto e os diagramas de roseta relativos às unidades sedimentares (A) e às unidades do embasamento cristalino (B).



Fonte: Adaptado de Cavalcante *et al.*, 2003.

Os lineamentos que atingem a unidade do embasamento apresentam maiores frequências na direção NE-SW (entre 030 az e 060 az), seguida da direção próxima a E-W (entre 090 az e 105 az).

Os lineamentos que afetam as unidades das bacias (Serra Grande e Pacujá) exibem maior frequência na direção NW-SE (entre 300 az e 330 az). Os importantes lineamentos com direção NE-SW associados ao LT extraídos nestas unidades não contribuem significativamente para aumentar a frequência apresentada nesta direção porque são representados por traços longos e contínuos diferentemente dos demais. No diagrama de roseta é também evidenciada a alta frequência de direções próximas a E-W (entre 090 az e 105 az).

## 6.2 Dados Magnetométricos

Os dados magnetométricos refletem uma boa correlação com a geologia da área de estudo. O posicionamento espacial do limite entre domínios magnéticos identificados coincide aproximadamente com os limites litológicos (Fig. 27), assim pode-se relacionar o domínio magnético A com as unidades do grupo Serra Grande (maior proporção) e Pacujá, e o domínio B com Unidade Canindé (Granulitos e granitoides).

O limite entre os domínios magnéticos coincide também com o posicionamento do LT. Este aparece de forma segmentada e deslocada, influenciando essas características no domínio magnético B, citadas no capítulo 4.

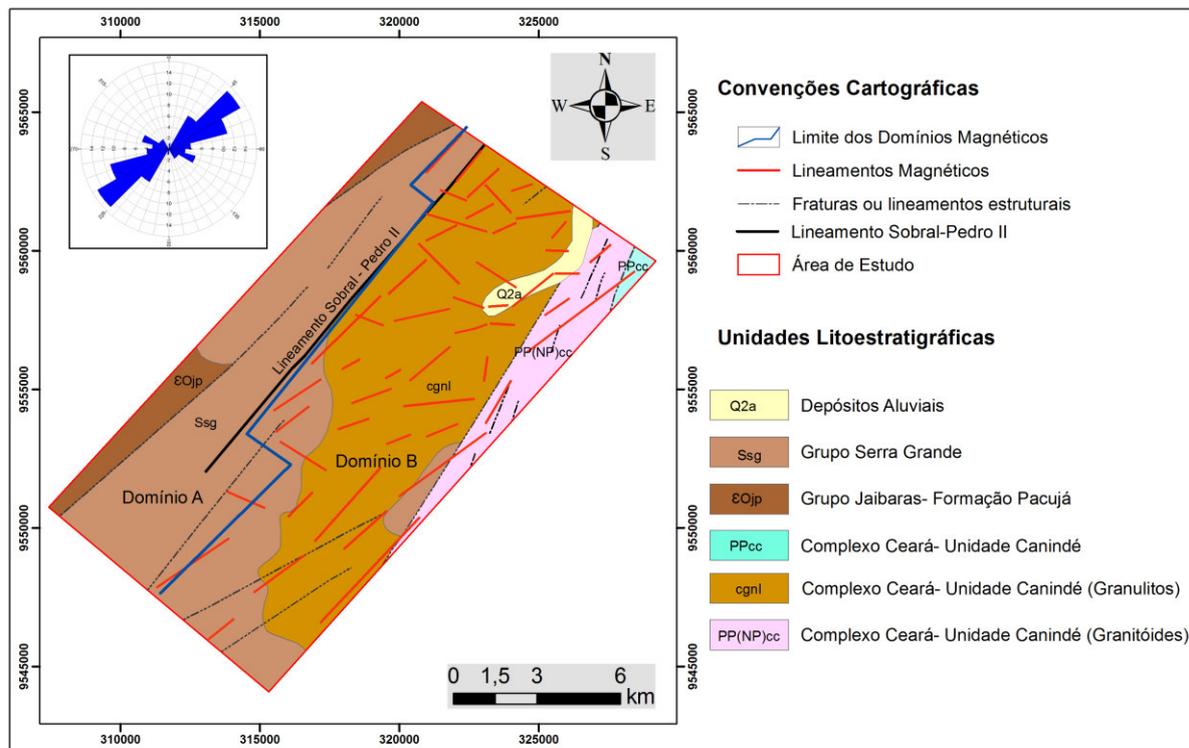
Os lineamentos magnéticos identificados indicam maiores frequências na direção NE-SW, dentre estes, os de maiores continuidades posicionam-se espacialmente próximos às estruturas geológicas identificadas por Cavalcante (2003).

Os lineamentos magnéticos que se concentram no domínio relacionado com o embasamento apresentam profundidades entre 140 e 340 metros, sendo estas estimadas pela análise dos produtos *matched filter* e pela Deconvolução de Euler. A ausência de lineamentos no domínio relacionado com unidades das bacias sugere pouca magnetização, característica comum aos tipos de rochas destas unidades. As anomalias magnéticas nesse domínio alcançam maiores profundidades (3000 metros).

Os lineamentos magnéticos foram relacionados com padrões lineares reconhecidos através da solução de Euler para índice 1. Esses padrões lineares comparados aos lineamentos magnéticos variam o posicionamento espacial, mas mantém as direções principais

evidenciadas no diagrama de roseta, está coincidência fortalece o critério de interpretação que associa os lineamentos magnéticos com as estruturas rúpteis.

Figura 27: Mapa geológico com lineamentos e domínios magnéticos.

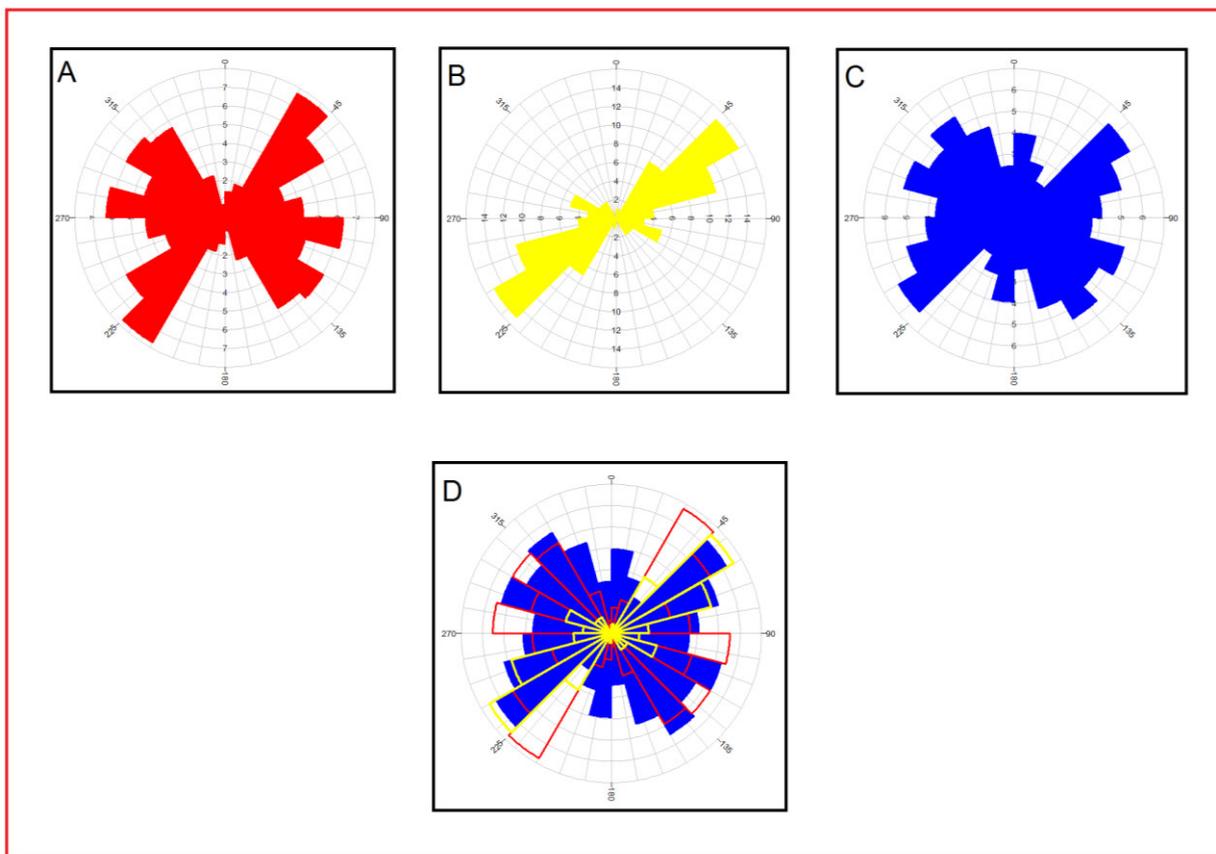


Fonte: Adaptado de Cavalcante *et al.*, 2003.

### 6.3 Comparação das direções estruturais das diversas fontes

Ao comparar as distribuições de frequência de direções dos diagramas de roseta, gerados para os lineamentos extraídos do sensoriamento remoto, lineamentos magnéticos e dados de direção de planos de fratura obtidos em campo (Fig. 28), observam-se algumas coincidências e peculiaridades.

Figura 28: Diagramas de roseta: A) Lineamentos do sensoriamento remoto; B) Lineamentos magnéticos; C) Planos de fratura e D) Superposição dos diagramas.



Fonte: Autor

As maiores frequências indicadas nos diagramas de roseta gerados, ocorrem na direção NE-SW. Nos dados dos lineamentos de sensoriamento remoto a maior frequência está entre 030 az e 045 az, nos lineamentos magnéticos e nos dados de campo a maior frequência está entre 045 az e 060 az. Portanto, em todos os dados é evidente a direção NE-SW, caracterizando a ocorrência de estruturas rúpteis na área de estudo na principal direção do Lineamento Transbrasiliano (Lineamento Sobral-Pedro II), inclusive contemplando direções N50E e N30E que são associadas às Zonas de transpressão, com características essencialmente dúcteis reconhecidas no LT (citadas no capítulo 2).

A direção NW-SE está caracterizada por uma baixa frequência nos lineamentos magnéticos, e por elevadas frequências com alta dispersão, para os dados de campo e sensoriamento remoto. A direção NW-SE, representa tectônica extensional/transtrativa associada ao Lineamento Transbrasiliano (Quadros 1996; Santos *et al.*, 2013).

A direção N-S torna-se expressiva apenas no diagrama que reflete as atitudes das fraturas medidas em afloramentos no campo. Esta direção N-S coincide com a orientação das

estruturas transtrativas sinistrais associadas ao lineamento Transbrasiliano (Fuck *et al.*, 2013), mas a questão desta direção ser evidente apenas em dados de campo sugere que não teria uma representação regional na área de estudo, e possivelmente corresponde a estruturas como juntas, que tendem a ser mais representativas em escala de afloramentos.

A direção E-W é evidente em todos os diagramas de roseta gerados, porém de forma mais acentuada em planos de fratura medidos em campo e nos lineamentos de sensoriamento remoto. Esta direção está caracterizada em outras regiões da Província Borborema e em grandes zonas de cisalhamento, como é o caso dos lineamentos Patos e Pernambuco, que assim como o Lineamento Transbrasiliano são responsáveis pela compartimentação tectono-estrutural desta província. Além de ser uma direção de estruturas rúpteis reconhecidas nas Bacias Jaibaras (Quadros, 1996) e Parnaíba (Justo, 2006). Cabe observar que a direção E-W também está vinculada a feições frágeis como o cânion do Poty (Magini *et al.*, 2013), desenvolvidas em eventos tardios em relação ao Lineamento Transbrasiliano (citado no capítulo 2).

#### **6.4 Comparação das direções nas unidades**

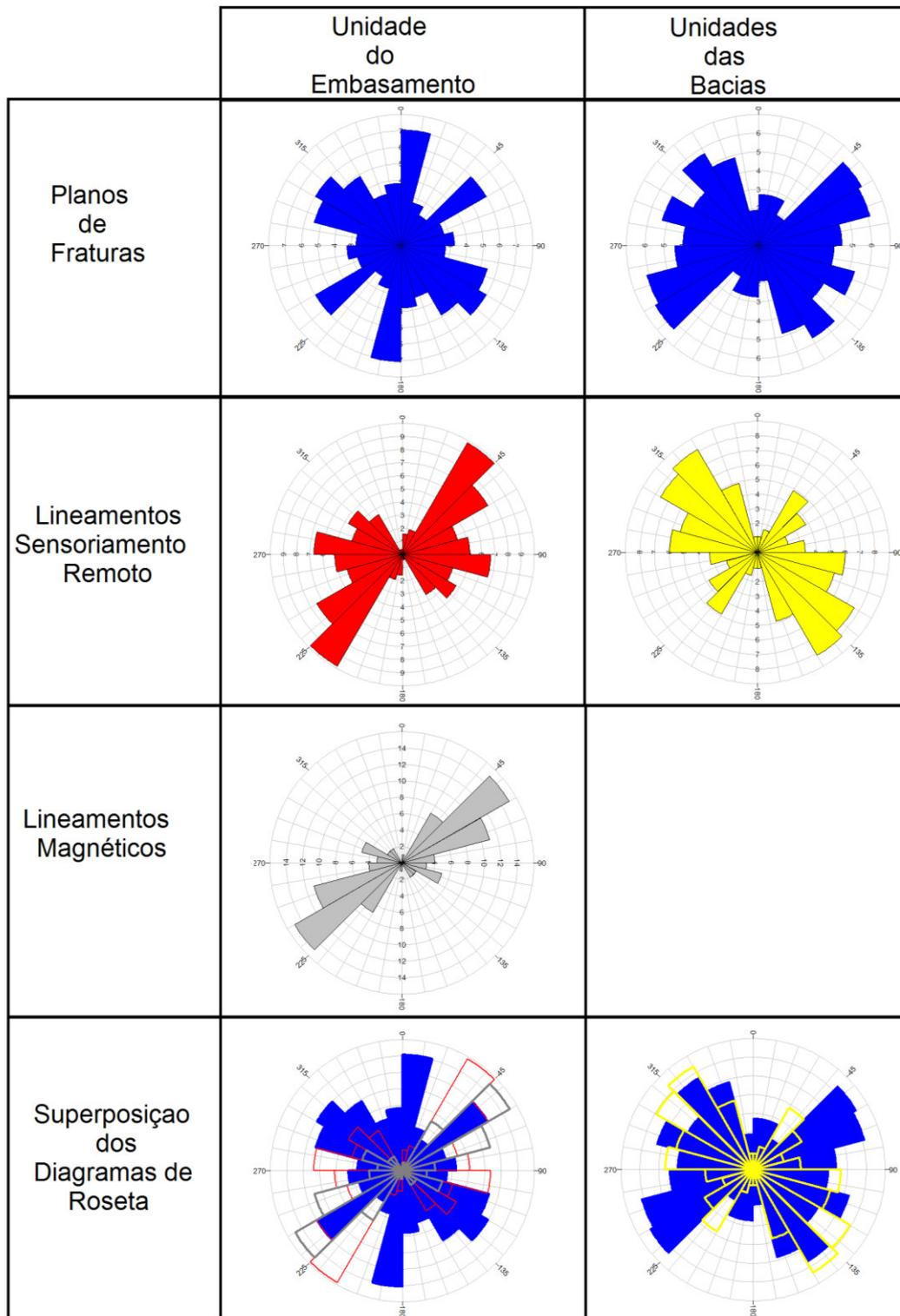
Em virtude da diferenciação dos dados de planos de fratura medidos em campo e dos lineamentos extraídos em relação às unidades afetadas (Canindé-embasamento, Pacujá-Bacia Jaibaras e Serra Grande-Bacia Parnaíba), foi realizada uma comparação das direções estruturais por unidade (Fig 29).

No embasamento observa-se uma variação das direções indicadas em relação aos tipos de dados analisados. A direção principal dos planos de fratura é N-S, enquanto que dos lineamentos (sensoriamento remoto e magnéticos) é NE-SW. A orientação NW-SE é indicada por altas frequências nos planos de fratura, e a direção E-W é mais evidente nos lineamentos extraídos do sensoriamento remoto.

Nas unidades de bacias foram analisados apenas os planos de fratura e os lineamentos extraídos do sensoriamento remoto, devido à ausência de lineamentos magnéticos nessas unidades. A direção NW-SE é a mais evidente em ambos os dados; essa é caracterizada por altas frequências e com alta dispersão. A direção NE-SW também é observada nos dados, inclusive sendo a direção principal indicada, por uma pequena diferença de percentual em

relação à direção NW-SW, nos planos de fratura. A orientação E-W aparece em ambos os dados, e orientação N-S aparece somente nos planos de fratura.

Figura 29: Diagramas de roseta das unidades do embasamento e das bacias.



Na comparação dos dados de direções em relação a embasamento e bacias tem-se:

A direção NE-SW é evidente em ambos, portanto interpreta-se que a principal direção LT foi reativada nas unidades das Bacias Jaibaras e Parnaíba, na área de estudo.

A direção N-S é mais perceptível na unidade do embasamento (fraturas em afloramentos), enquanto a direção NW-SE é mais pertinente nas unidades das bacias, ambas as direções estão potencialmente relacionadas a tectônica transtrativa associada ao LT.

A relação das direções N-S e NW-SE com embasamento e bacias, sugere que a tectônica extensional na direção N-S foi mais ativa antes das formações das bacias, gerando estruturas rúpteis (principalmente juntas) de dimensões pequenas (escala de afloramento), enquanto a direção NW-SE permaneceu ativa durante a formação das mesmas desenvolvendo estruturas rúpteis de diversas dimensões que permitem sua identificação em escala regional (lineamentos de sensoriamento remoto e magnéticos).

A direção E-W é caracterizada com altas frequências, tanto na unidade do embasamento, como nas unidades das bacias. Estando esta direção relacionada com uma tectônica extensional frágil tardia ao LT, sugere-se que esta tectônica, na área de estudo, afetou o embasamento e as Bacias Jaibaras e Parnaíba.

## 7 CONCLUSÕES

A aplicabilidade dos produtos derivados do sensoriamento remoto foi de grande importância para a identificação e a caracterização dos lineamentos da área de estudo. Estes lineamentos apresentam direções preferenciais nordeste, noroeste e leste, coincidindo com direções indicadas pelos lineamentos magnéticos e planos de fratura medidas em afloramentos.

A magnetometria permitiu analisar de forma qualitativa a área em foco, com a distinção de dois domínios magnéticos (A e B) e a identificação de lineamentos magnéticos.

O domínio magnético A representa as Unidades Pacujá e Serra Grande, coberturas sedimentares das Bacias do Jaibaras e Parnaíba, respectivamente. Este domínio é caracterizado por anomalias magnéticas positivas profundas e ausência de lineamentos magnéticos.

No domínio magnético B formado pela Unidade Canindé, predominam anomalias negativas rasas e lineamentos magnéticos com direção preferencial nordeste.

Os lineamentos extraídos das imagens de sensores remotos, os lineamentos magnéticos e as medidas de campo de planos de fratura evidenciam a direção NE-SW, indicada pelas maiores frequências, comprovando a predominância da principal direção associada ao Lineamento Transbrasiliano na área de estudo (Lineamento Sobral-Pedro II).

As direções NW-SE e N-S, potencialmente ligadas à tectônica extensional transtrativa associada ao Lineamento Transbrasiliano, também são evidentes. A persistência da direção NW-SE nas bacias sugere uma possível reativação das estruturas nesta direção.

Interpreta-se que a geração das estruturas rúpteis com orientação E-W identificadas no embasamento e nas bacias estariam relacionadas com uma tectônica extensional frágil posterior desenvolvimento do Lineamento Transbrasiliano e a formação das bacias.

Portanto, a análise integrada das direções identificadas para as estruturas rúpteis na área de estudo indicam a existência de um controle do Lineamento Transbrasiliano nas unidades das Bacias Jaibaras e Parnaíba, através de reativações NE e NW sob regimes tectônicos extensionais. No entanto, ressalta-se a importância da execução de outros estudos que possam colaborar no entendimento da evolução tectônica na região.

## REFERÊNCIAS

Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A., 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG Simp. Geol. Nordeste, 8, Atas Campina Grande, p. 363-391.

Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A., 1981. Brazilian Structural Province. *Eart Sic. Rev.*, 7: p. 1-29.

Amaral W.S., 2007. Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição a evolução geodinâmica do domínio Ceará Central, Província Borborema. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 165 p.

Amaral W.S., 2011. Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao arco magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 248 p.

Amaro V.E. e Strieder A.J., 1994. Análise de fotolineamentos e padrões estruturais em imagens de satélite. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, *Anais*, Balneário Camboriú, p. 443-444.

Arthaud M.H., 2007. Evolução Neoproterozóica do grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 170 p.

Assine M.L., Soares P.C., 2004. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*. 114, p. 23-34.

Blakely, R. J., 1996. *Potential Theory in Gravity e Magnetic Applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 441 p.

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. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 229 p.

Brito Neves B.B., 1983. O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil, Escala 1: 1.000.000. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, 198 p.

Brito Neves B.B., Fuck R.A., Cordani U. G., Thomaz A. F., 1984. Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basins of Brazil: A case of tectonic heritage. *Journal of Geodynamics*, 1, p 495-510.

Brito Neves B.B., Santos E.J., Van Schmus W.R., 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: Cordani U.G, Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. Tectonic evolution of South America. SBG, Rio de Janeiro, p. 151-82.

Caputo M.V. e Lima E.C., 1984. Estratigrafia, idade e correlação do grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de geologia, 33, Rio de Janeiro. SBG, 2, p.740-753.

Carozzi A.V., Falkenhein F.V.H, Carneiro R.G., Esteve F.R., Contreiras C.J.A., 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sedimentar da seção Siluro-eocarbonífera da bacia do Maranhão. *Série ciência -Técnica -Petróleo, Secção Exploração do petróleo*. Rio de Janeiro, n.7, 48 p.

Cavalcante J.C.; Vasconcelos A.M.; Medeiros M. F.; Paiva I.G., 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Ed. CPRM. Fortaleza.

Cordani U.G., Pimentel M.M., Araújo C.E.G., Fuck R.A., 2013. The significance of the Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of West Gondwana. *Braz. J. Geol.*, São Paulo, 43(3), p. 583-597.

Costa J.B.S., Hasui Y., 1988 Aspecto do Lineamento Transbrasiliano na região de Porto Nacional-Natividade, GO. In 35. Congresso Brasileiro de geologia, Belém.

Cunha F.M.B., 1986. Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. UFRJ, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado 101 p.

Davis J.C., 1986. *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley e Sons, 2.Ed., U.S.A., 664 p.

Fairhead, J.D., Maus, S., 2003. Champ satellite and terrestrial magnetic data help define the tectonic model for South America and resolve the lingering problem of the pre-break-up fit of the South Atlantic Ocean. *Leading Edge* 22 (8), p. 779-783.

Fetter, A.H., 1999. U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. Ph.D Thesis, Kansas University, Lawrence.

Fuck R.A., Dantas E.L., Vidotti R.M., Roig H.L., Almeida T., 2013. Deformação Intracontinental Em Sistemas Transcorrentes: O caso do Lineamento Transbrasiliano: Geometria, Idade E Significado.. In: XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Chapada dos Guimarães-MT. Anais do XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos.

Geosoft, 2013. Oasis Montaj 7.5 Mapping and Processing System. In: Quick Start Tutorials. Geosoft Incorporated, p. 258.

Geosoft, 2010. OASIS Montaj 7.1. Montaj Gridkmit, Inc., Toronto.

Góes A.M.O e Feijó F.J., 1994. Bacia do Parnaíba. B.geoci. PETROBRAS(8), p. 57-67.

Ghazala, H.H., 1993. Geological and structural interpretation of airborne surveys and its significance for mineralization, South Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, Vol. 16, Issue 3, p. 273-285.

Gonçalves, L. C., Moraes R.A.V., Dantas E.L., Pires A.C.B., 2005 Deconvolução de Euler: Nova perspectiva para a interpretação 3D de estruturas geológicas. In: IX Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 2005, Salvador (BA). Anais do IX Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica.

Gorayeb P.S.S., Abreu, F.A.M., Correa, J.A.M., Moura, C.A.V. , 1988. Relações estratigráficas entre o granito Meruoca e a sequência Ubajara-Jaibaras. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, 6, p. 2678-2688.

GLCF – Global Land Cover Facility, 2000. Disponível em: <[http:// glcf.umiacs.umd.edu](http://glcf.umiacs.umd.edu). Acesso: 05/10/2013.

Gusmão, R., 1998. Arcabouço Geotectonico da região da Faixa Riacho do Pontal, Nordeste do Brasil. Dados aeromagneticos e gravimétricos. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 157 p.

Hobbs W. H., 1904. Lineament of the Atlantic border region. *Geol.Soc.Amer.Bull*, (15), p. 483-506.

Jardim de Sá E.F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil e seu significado geodinâmico Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803 p.

Justo A.P., 2006. Sistemas orbitais e aéreos aplicados à análise multi-escala da tectônica rúptil atuante na borda sudoeste da Bacia do Parnaíba. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 115 p.

Kearey P., Brooks M., Hill I., 2009. Geofísica de Exploração. Tradução: Coelho M.C.M. Oficina de texto, São Paulo, 437 p.

Kegel W., 1953. Contribuição para o estudo do Devoniano da bacia do Parnaíba. Divisão de geologia e mineralogia, Boletim, Rio de Janeiro, 141, p. 1-48.

Mantovani, M.S.M., Rugenski, A., Diogo, L.A., Shukowsky, W., 2005. Integrated geophysical investigation of a possible new alkaline occurrence in SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Volume 20, Issue 3, p. 259-266.

Magini C., Dantas E.L., Fuck R.A., Hackspacher P.C., 2013. Canion do Poty, exemplo da tectônica frágil tardia no Lineamento Transbrasiliano. XXV Simpósio de Geologia do Nordeste. III Simpósio da Província Borborema. Gravatá-PE.

Nabighian, M.N., 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, p. 507-517.

Nogueira Neto, J.A., 2000. Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema. PhD. Thesis Universidade Estadual Paulista – UNESP 171 p.

O'Leary D.W., Friedman J.D., Pohn, H.A., 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **87**, p. 1463-1469.

O'Leary D.W. e Simpson S., 1975. Lineaments and tectonism in the northern part of the Mississippi embayment. Ann Arbor, Michigan, p. 965-974.

Oliveira D.C., 2001. Reavaliação da evolução tectono-magmática do Graben de Jaibaras (Nordeste do Brasil). Acta Geologica Hispanica, v. 36, n. 1-2, p. 53-95.

Oliveira D.C e Mohriak W., 2003. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, northern Brazil. Marine and Petroleum Geology, v 20, p. 351-383.

Phillips, J.D., 1997, Potential-field geophysical software for the PC, version 2.2: U.S. Geological Survey Open-File Report, p. 97-725.

Quadros, M.L.E.S., Abreu, F.A.M., Gorayeb, P.S.S., 1994. Considerações sobre os ambientes deposicionais das Formações Pacujá e Aprazível, Bacia de Jaibaras - NW do Ceará. Anais do 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, p. 240-242.

Quadros, M.L.E.S., 1996. Estudo tectono-sedimentar da Bacia de Jaibaras, na região entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, noroeste do estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências, Universidade Federal do Pará, 152 p.

Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millet A. J., Somerton I. W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. Geophysics, **55** (1), p. 80-91.

Rodrigues R., 1967. Estudo Sedimentológico e estratigráfico dos depósitos Silurianos e Devonianos da Bacia do Parnaíba. Belém, Petrobras, Relatório técnico, n.273, 61 p.

Sabins F.F., 1978. Remote Sensing. Principles and interpretation. Freeman, New York.

Santos E.J. e Brito Neves B.B., 1984. Província Borborema. In Almeida F.F.M e Hasui Y (coords.) . O Pré-Cambriano do Brasil. Eduardo Bucher, São Paulo, p.123-186.

Santos E.J., 1995. O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de floresta (Pernambuco), Província Borborema. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 219 p.

Santos E.J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescônica na Província Borborema. In SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Anais, 6, Salvador, p. 47-50.

Santos E.J., 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Belém do São Francisco/Floresta, SC. 24-X-A, escala 1:250.000. Brasília, CPRM, 57 p.

Santos E.J. e Medeiros V.C., 1997. Constraints granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Zona Transversal Domain, Borborema Province, NE Brazil. In: international Symposium on Granites and Associated Mineralizations, V.2, p. 237-239.

Santos M.E.de C.M. e Carvalho M.S.S., 2009. Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajau e São Luís. Rio de Janeiro: CPRM-DGM/D/PALE. 215 p.

Santos M.H.L., 2006. Processamento, nivelamento e integração de levantamentos aerogeofísico magnetométricos no estado de Minas Gerais e sua contribuição à geologia da porção Sul do Cráton São Francisco. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 157 p.

Santos T.J.S, Fuck R.A., Ancelmi M.F., Dantas E.L., Pitarello M.Z, Vidotti R.M., 2013. Análise multi-escala do Lineamento Transbrasiliano e suas falhas subsidiárias no Nordeste do Brasil. In: XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Chapada dos Guimarães-MT. Anais do XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos.

Schetselaar, E.M., Chung, C.F., Kim, K.E., 2000. Integration of Landsat TM, Gamma-Ray, Magnetic, and Field Data to Discriminate Lithological Units in Vegetated Granite-Gneiss Terrain. *Remote Sensing of Environment*, 71, p. 189-105.

Schobbenhaus Filho, C. Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E. (coords.), 1975. Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Brasília, DNPM.

Small, H.I., 1913. Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará. Recife, Insp. Obras Contra Secas. Publicação 25, 80 p.

Strieder A.J. e Amaro V.E., 1997. Estruturas de lineamentos extraídos de imagens de sensores remotos. *EGATEA:Rev. Esc. Eng. UFRGS*, 25, p. 109-117.

Syberg, F.R.J., 1972. A Fourier method for the regional residual problem of potential fields: *Geophysical Prospecting*, 20, p. 47-75.

Thompson D. T., 1982. EULDPH – A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47, p. 31-37.

Thurston, J.B. e Smith, R.S., 1997. Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI(TM) method. *Geophysics* 62(3), p. 807-813.

Van Schmus W.R., Brito B.B., Hackspacher P.C., Babinski M., 1995. U/PB and Sm/Nd geochronologic studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Jour. South Am. Earth Sci.* 8, p. 267-288.

Valeriano, M. M., 2004. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72 p.

Valeriano, M. M. Topodata - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil. 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>. Acesso em: maio/2014.

Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.S.; Mota, A.C. e Gomes, R.D., 1990. Geofísica em levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, DIGEOF-CPRM.

Vaucher A., Neves S.P., Caby R., Corsini M., Egydio-Silva M., Arthaud M.H., Amaro V.E., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8, p. 247-266.