



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA - PPGG



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EXPRESSÃO EM SUPERFÍCIE DO SISTEMA DE FALHAS POÇO VERDE-CARAÚBAS, BACIA POTIGUAR

Autor:
RAFAEL DUARTE SANTOS

Dissertação nº 93 /PPGG.

ORIENTADOR:
Prof. Dr. Francisco Hilário Rêgo Bezerra (PPGG/UFRN)

Natal/RN, Março de 2010.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

EXPRESSÃO EM SUPERFÍCIE DO SISTEMA DE FALHAS POÇO VERDE-CARAÚBAS, BACIA POTIGUAR

AUTOR:
RAFAEL DUARTE SANTOS

Dissertação de Mestrado apresentado em 05 de Março de 2010, para a obtenção do título de Mestre em Geodinâmica pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Francisco Hilário Rêgo Bezerra (PPGG/UFRN)
Prof. Dr. David Lopes de Castro (DG/UFRN)
Dr. Pedro Xavier Neto (PETROBRÁS – UN-RNCE)

Natal/RN, Março de 2010.

Dedicatória

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estivermos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

(Dalai Lama)

Aos meus pais, **Paulo Roberto e Agnez Duarte**; minha noiva **Mikaelle** e nossa filha **Rafaelle**.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por toda força nos momentos difíceis, quando me sentindo desacreditado e perdido nos meus objetivos, ideais ou minha pessoa, me fez perceber que sou importante e que é preciso lutar pelos seus ideais.

Aos meus queridos pais, Paulo Roberto e Agnez Duarte que deram muita força a minha vinda do Ceará ao Rio Grande do Norte, que no decorrer da vida me trouxe conhecimento da integridade e da perseverança. À minha irmã que sempre esteve ao meu lado, nos bons e maus momentos.

Aos meus grandes amores e fontes de inspiração, Mikaelle e minha filha Rafaelle, que sempre esteve presente com palavras de conforto e inspiração para continuar minha essa jornada longe deles.

Ao professor Francisco Hilário pela orientação, oportunidade do trabalho, por ajudar na continuidade da minha carreira acadêmica e por ser um professor dedicado e comprometido em ajudar o aluno no exercício de sua profissão e o amigo quando encontra a dificuldade. A Maria Osvalneide pelo apoio para desenvolver um bom trabalho.

Aos professores do PPGG que me trouxeram mais conhecimento geológico. A secretária do PPGG Nilda pela ajuda e simpatia.

Ao PRH – 22 (Programa de Recursos Humanos em Geologia, Geofísica & Informática no Setor de Petróleo & Gás da UFRN) da ANP (Agencia Nacional de Petróleo) pela concessão da bolsa.

A projeto ‘Arquitetura 3D e Propriedades Geomecânicas-Petrofísicas-Petroológicas de Falhas em Unidades Pós-Rifte da Bacia Potiguar: Banco de Dados e Modelagem Numérica Aplicados à Projetos de Exploração e Reservatório’ (CNPq) e ao projeto ‘Evolução Pós-Rifte dos principais sistemas de falhas da Bacia Potiguar’ (PETROBRÁS) pelo apoio financeiro.

Aos colegas de laboratório: Rúbson, Elissandra, Cláudia, Diego, Raphael (Kalango), César e Silvana. Um agradecimento especial a Fernando Feitosa pela incrível ajuda e a sua descontração durante os campos.

Por fim, aos colegas de pós-graduação: Jonas, Eduardo, Diogo, Fátima, Fatinha, Camila e Silvia.

RESUMO

O conhecimento estrutural da porção oeste da Bacia Potiguar ainda é incipiente, principalmente aquele relacionado aos sistemas de falhas NW-SE. Esta dissertação analisa o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas, onde foi inicialmente individualizado em subsuperfície. As atividades realizadas inerentes a este estudo correspondem à análise de sensoriamento remoto e principalmente à análise geométrica e cinemática, da seqüência pós-rifte da bacia. Além disso, o estudo teve como objetivo determinar os campos de tensão que operam na área. Os estudos foram realizados numa área de 1.000 km², localizada na porção oeste da Bacia Potiguar, ao longo do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas, estado do Rio Grande do Norte. As imagens de sensoriamento remoto indicam uma predominância de lineamentos orientados na direção NW-SE, consistente com o sistema de falha em estudo, seguido das direções NE-SW, N-S e E-W. As estruturas tectônicas mapeadas foram analisadas somente em afloramentos da Formação Jandaíra. Eles são juntas (preenchidas ou não) em todas as direções com predominância para o *trend* NW-SE. Falhas normais de direção aproximada N-S, falhas transcorrentes nas direções NW-SE e NE-SW. A análise geodinâmica identificou dois campos de tensões. O primeiro campo, “Campo 1”, é representado por uma compressão N-S horizontal e distensão E-W. Este campo atuou na Bacia Potiguar pelo menos até o Mioceno. O segundo campo, “Campo 2” é representado por uma compressão horizontal E-W e distensão horizontal N-S. Este é o atual campo de tensões e tem afetado a Bacia Potiguar desde o Plioceno.

ABSTRACT

The structural knowledge of the western portion of the Potiguar Basin is still in its infancy, especially these related to NW-trending fault systems. This paper analyzes the Poço Verde-Caraúbas Fault System, which was initially recognized in subsurface. The activities involved in this study correspond to remote-sensing analysis and, in particular, to the geometric and kinematic analysis of post-rift sequences of the basin. In addition, the study aimed to determine the stress fields operating in the area. The studies were carried out in an area of 1,000 km², located in the western portion of Potiguar Basin along the Poço Verde-Caraúbas Fault System, Rio Grande do Norte State. The remote sensing imagery indicates a predominance of NW-SE-trending lineaments, consistent with the fault system under study, followed by the NE-SW, N-S and E-W directions. The tectonic structures mapped were analyzed only in outcrops of the Jandaíra Formantion. They are joints (filled or not) in all directions, but with predominance of the NW-trending joints. Faults are usually N-S-trending normal faults and NW-SE and NE-SW-trending strike-slip faults. Geodynamic analysis identified two tectonic stress fields: the first field, "Field 1" is represented by an N-S-trending horizontal compression and E-W-trending horizontal extension. This field affected the Potiguar Basin at least until the Miocene. The second field, "Field 2", is represented by an E-W-trending horizontal compression and N-S-trending horizontal extension. This is the present-day stress field and has affected the Potiguar basin since the Pliocene.

SÚMARIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	01
1.1. Introdução	01
1.2. Apresentação	01
1.3. Objetivos	03
1.4. Localização e Acesso	03
1.5. Metodologia	05
CAPÍTULO II – GEOLOGIA REGIONAL	06
2.1. Introdução	06
2.2. Arcabouço Estrutural	07
2.3. Estratigrafia	08
2.4. Evolução Tectono-Sedimentar	10
2.5. Caracterização Estrutural Pós-Rifte	11
CAPÍTULO III – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE PRODUTOS DIGITAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	14
3.1. Introdução	14
3.2. Análise de imagens Landsat 7+ - combinações coloridas RGB	17
3.3. Extração, análise e interpretação de lineamentos	20
3.4. Conclusões	31

CAPÍTULO IV – ANÁLISE GEOMÉTRICA E CINEMÁTICA DAS ESTRUTURAS	
4.1. Introdução	32
4.2. Juntas	33
4.3. Falhas	36
4.3.1. Falhas Normais	36
4.3.2. Falhas Transcorrentes	37
4.4 Determinação das Paleotensões	41
4.4.1. Introdução	41
4.4.2. Interdependência Cinemática entre as Falhas	44
4.5 Determinação das tensões no Sistema de Falhas Poço Verde – Caraúbas.....	45
4.6 - Análise das Paleotensões	52
4.7 - Cronologia Relativa dos Campos de Tensão	54
4.8 – Conclusões	55
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - Introdução

Figura 1.1 – Sistemas de Falhas na Bacia Potiguar. Fonte: Modificado de Fortes (1987)..... 02

Figura 1.2 - Mapa geológico e de localização da área (Simplificado de CPRM 2006) 04

CAPÍTULO II – Geologia Regional

Figura 2.1 – Mapa geológico de localização da parte emersa (Modificado de Angelin *et al.*, 2006)..... 06

Figura 2.2 – Mapa simplificado do arcabouço tectônico da Bacia Potiguar (Modificado de Matos, 1992)..... 07

Figura 2.3 – Coluna Estratigráfica da Bacia Potiguar (retirado de Pessoa Neto *et al.*, 2007)..... 09

Figura 2.4 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar superposto a uma imagem SRTM.. 13

CAPÍTULO III – Análise e Interpretação dos produtos digitais de sensoriamento remoto

Figura 3.1 - Modelo de sombreado artificial do relevo (Hillshade) superposto ao Modelo Digital de Elevação obtido a partir da imagem de radar tratada no software ArcGis 9.2..... 16

Figura 3.2 a – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no software ER Mapper 6.4, sem interpretação..... 18

Figura 3.2 b – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no software ER Mapper 6.4, para reconhecimento das unidades litológica, açudes e drenagem da área em estudo, interpretada..... 19

Figura 3.3 - Quatro filtros direcionais (E-W, NE, N-S, NW) na cena 215, orbita 64 da imagem Landsat 7 ETM+ com a banda 4..... 21

Figura 3.4 - Quatro filtros direcionais (E-W, NE, N-S, NW) na cena 216, orbita 64, da imagem Landsat 7 ETM+ com a banda 4..... 22

Figura 3.5 - Diagrama de rosetas normalizado pela quantidade de lineamentos, usando os resultados de todos os filtros..... 24

Figura 3.6 - Diagrama de rosetas normalizados pelo tamanho, usando os resultados de todos os filtros. Cada comprimento de lineamento varia de 100 m a 3.000 m..... 24

Figura 3.7 - Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção NW.....	25
Figura 3.8 - Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção NE.....	25
Figura 3.9 - Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção E-W.....	26
Figura 3.10 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção N-S.....	26
Figura 3.11 – Diagrama de rosetas normalizado pela quantidade de lineamentos extraídos na imagem SRTM.....	28
Figura 3.12 – Diagrama de rosetas normalizados pelo tamanho. Cada comprimento de lineamento varia de 100 m a 3.000 m. Extraído em imagens SRTM.....	28
Figura 3.13 – Imagem de radar (SRTM) e seus lineamentos.....	29
Figura 3.14 – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no software ER Mapper 6.4, para reconhecimento de lineamentos.....	30
 CAPÍTULO IV – Análise Geométrica e Cinemática das Estruturas Tectônicas	
Figura 4.1 – Mapa de localização dos pontos estudados.....	32
Figura 4.2 - Junta de distensão com direção principal NW-SE preenchida por tufa calcária. Ponto D13 (coordenadas x – 0689431; y – 9409692).....	33
Figura 4.3 - Junta de distensão com direção principal NW-SE preenchida por calcita. Ponto D37 (coordenadas x – 696909; y – 9410917).....	34
Figura 4.4 - Diagrama de roseta mostrando os principais sets de todas as populações de juntas.....	35
Figura 4.5 - Diagrama de igual área de todas as populações de juntas.....	35
Figura 4.6 - Junta de distensão com direção principal NW-SE, mais contínua, interrompe juntas NE-SW mais recentes. Ponto D13 (coordenadas x – 0689431; y – 9404369).....	36
Figura 4.7 - Plano de falha normal de direção ~ N-S (Ponto D11: coordenadas x- 689612; y- 9411906).....	37

- Figura 4.8** - Projeção ciclográfica das falhas normais (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 37
- Figura 4.9** - Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes NW-SE com cinemática dextral e fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 38
- Figura 4.10** - Projeção ciclográfica das falhas direcionais NE-SW com cinemática dextral e sua fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 39
- Figura 4.11** - Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral de trend principal NW-SE e suas fraturas sintéticas (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 40
- Figura 4.12** - Figura 4.12 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral de trend principal NE-SW e sua fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 40
- Figura 4.13** - Sistema de cisalhamento de Riedel e seus elementos comuns (Modificado de Bartlett et al., 1981 e Woodcock & Schubert 1994 apud Davis et al., 1999). A presença das juntas de cisalhamento R só é obrigatória quando o sistema de cisalhamento for considerado como de Riedel. R' está quase sempre presente..... 42
- Figura 4.14** - Modelos de caracterização da cronologia relativa de formação das fraturas R, R' e P. Em geral admite-se que as fraturas R são as mais precoces (A). Porém há divergências de opiniões em relação ao aparecimento de modo que R' (B) e P (C) podem se formar após R. Modificado de Sylvester (1988)..... 42
- Figura 4.15** - Método do plano M (Arthud, 1969), onde estima-se o campo de tensão. É preciso conhecer a atitude do plano de falha, a estria, sintética ou antitética e a cinemática da falha. (A) O plano M é perpendicular ao plano da falha. (B) Somente com uma única falha com os elementos necessários é possível calcular os eixos de tensão Z/σ_1 , Y/σ_2 e X/σ_3 e com uma serie de falhas é possível determinar o campo de tensão atuante..... 43
- Figura 4.16** - Projeções ciclográficas dos planos de falhas normal, dextral NW-SE e sinistral NE-SW, com respectivas estrias plotadas indicando sentido de movimento (projeções no hemisfério inferior – diagrama de Schmidt-Lambert)..... 44
- Figura 4.17** - Projeções ciclográficas dos planos de falhas sinistral NW-SE e dextral NE-SW, com respectivas estrias plotadas indicando sentido de movimento (projeções no hemisfério inferior – diagrama de Schmidt-Lambert)..... 45

- Figura 4.18** - Plano de falha normal com estrias de alto *rake*. Ponto D11 (coordenadas x- 689612; y- 9411906)..... 46
- Figura 4.19** – Projeção ciclográfica das falhas normais e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 46
- Figura 4.20** - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas normais. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 47
- Figura 4.21** – Exemplo das juntas de cisalhamento de Riedel como critério para a definição das falhas transcorrente dextrais NW-SE em rochas calcárias da Formação Jandaíra. Ponto D29 (coordenadas: x – 706580 / y – 9405932)..... 47
- Figura 4.22** – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente dextral NW-SE e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 48
- Figura 4.23** - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas dextrais NW-SE. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 48
- Figura 4.24** – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente sinistral NE-SW e com o Plano M e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 49
- Figura 4.25** - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas sinistrais NE-SW. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 49
- Figura 4.26** – Exemplo das juntas de cisalhamento de Riedel como critério para a definição das falhas transcorrente sinistral NW-SE em rochas calcárias da Formação Jandaíra. Ponto D37 (coordenadas: x – 0709848 / y – 9404477)..... 50
- Figura 4.27** – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente sinistral NW-SE e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 50
- Figura 4.28** - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas sinistrais NW-SE. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 51
- Figura 4.29** – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente dextral NE-SW e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert)..... 51
- Figura 4.30** - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas dextrais NE-SW. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 52

Figura 4.31 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir do conjunto de tensores pertencentes ao “Campo 1”. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 53

Figura 4.32 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir do conjunto de tensores pertencentes ao “Campo 2”. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969)..... 53

Figura 4.33 - Esquema da relação entre os grupos de estruturas A e B e os campos de tensões 1 e 2, respectivamente..... 55

CAPÍTULO IV – Discussões e Conclusões

Figura 5.1 – Gráfico comparativo dos dados de paleotensões obtidos por diversos autores para a Bacia Potiguar (modificado de Almeida, 2003). Coluna crono-estratigráfica modificada a partir do Mapa Geológico do Rio Grande do Norte (Mont’Alverne et al., 1998)..... 60

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - Introdução

Tabela 1.1 – Coordenadas dos vértices da área de estudo..... 03

CAPÍTULO III – Análise e Interpretação dos produtos digitais de sensoriamento remoto

Tabela 3.1 - Características do STRM e Landsat 7+ (Fonte: NASA 2002, site: <http://southport.jpl.nasa.gov/> consultado em 10/09/2008)..... 15

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Introdução

A presente dissertação corresponde ao trabalho final do mestrado exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG/UFRN). O trabalho teve a orientação do Prof. Dr. Francisco Hilário Rêgo Bezerra (PPGG/UFRN).

O trabalho foi realizado como o apoio financeiro do projeto ‘Arquitetura 3D e Propriedades Geomecânicas-Petrofísicas-Petrológicas de Falhas em Unidades Pós-Rifte da Bacia Potiguar: Banco de Dados e Modelagem Numérica Aplicados à Projetos de Exploração e Reservatório’ (CNPq) e do Projeto ‘Evolução Pós-Rifte dos principais sistemas de falhas da Bacia Potiguar’ (PETROBRÁS). Ambos os projetos foram coordenados pelo Prof. Dr. Francisco Hilário Rêgo Bezerra.

1.2 - Apresentação

O conhecimento estrutural da porção oeste da Bacia Potiguar ainda é incipiente, principalmente aqueles relacionados aos sistemas de falhas NW-SE, marcante nessa região da Bacia. Tais sistemas de falhas são individualizados em subsuperfície, através de dados geofísicos. Porém, as expressões destes sistemas em superfície são menos evidentes.

O Sistema de Falha Poço Verde – Caraúbas compreende desde o município de Itajá (RN) até o município de Jaguaruana (CE) na porção oeste da Bacia Potiguar. Este sistema de falhas foi definido por dados geofísicos e foi apresentada aos integrantes do Projeto Poti-Falhas pelo geólogo Antonio Raimundo Corsino (Petrobrás). O estudo deste sistema de falhas foi sugestão do mesmo. Esse sistema de falhas é análogo, em relação à direção de suas principais falhas, ao Sistema de Falha Afonso Bezerra localizado do município de Pedro Avelino até o município de Tibau na porção central da Bacia Potiguar (Fig. 1.1).

Assim, faz-se necessário o estudo detalhado desta zona de falha, buscando um padrão tectônico e a geometria dessas estruturas nessa região de pouco conhecimento estrutural em superfície. Para que isso ocorra, a extração, interpretação de lineamentos, bem como a integração desses dados com os dados obtidos em campo são de suma importância para ratificar esta deformação em superfície.

No presente trabalho, foram mapeadas as deformações pós-campanianas, expressas em superfície, que afetam as rochas da Formação Jandaíra ao longo do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas, objeto de estudo desta dissertação.

Essas deformações pós-campanianas em superfície são pouco expressivas e possuem comprimentos inferiores a 15 m, muito menos intensas que os dados sísmicos coletados em profundidade. A Bacia Potiguar, em especial a porção oeste da mesma, é um excelente local para aplicar técnicas de análise estrutural visando estabelecer um padrão tectônico da região em estudo, enfatizando o caráter geométrico e cinemático destas estruturas.

A partir de dados de poços e trabalhos de sísmica foi possível identificar falhas da fase rifte e de transferência ao longo do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar, atrelando a elas diversos sistemas de falhas presente nesta região da bacia, destacando o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas (Fig. 1.1)

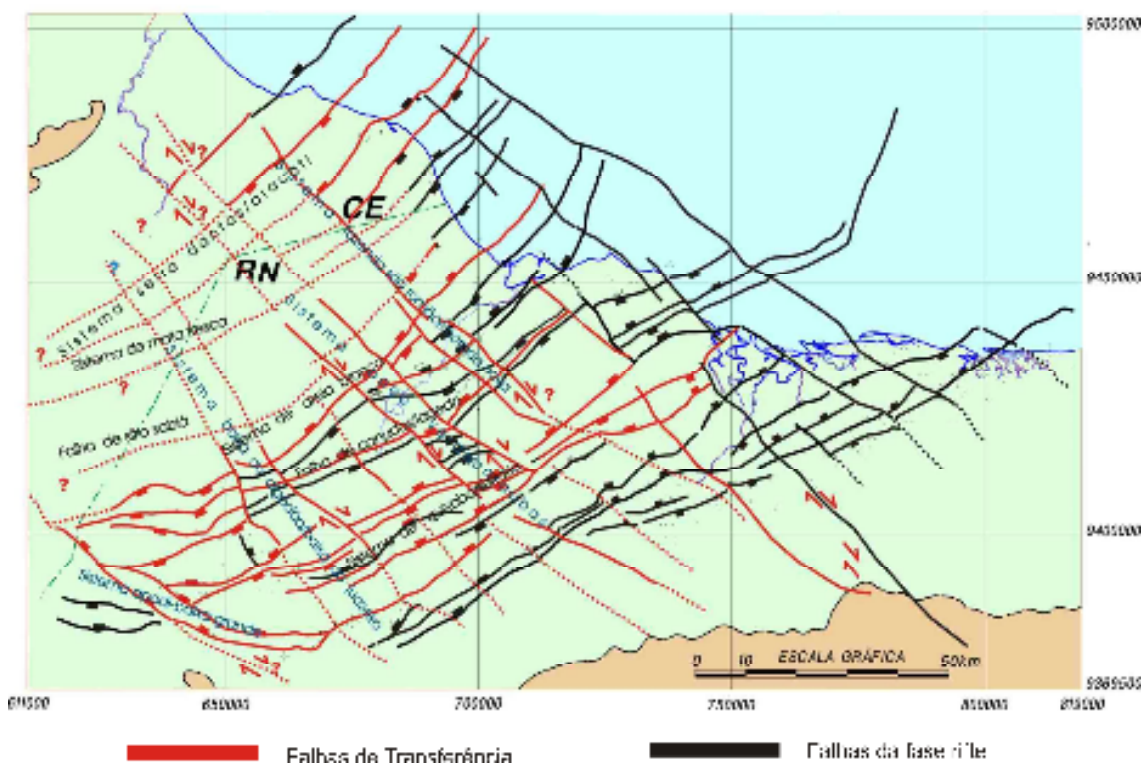


Figura 1.1 – Sistemas de Falhas na Bacia Potiguar. Fonte: Modificado de Fortes (1987).

1.3 - Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização da arquitetura de falhas e juntas do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas, que afetam a seqüência pós-rifte na porção oeste da Bacia Potiguar. Para isto, aproveitou-se a excelente exposição das seqüências pós-rifte para extração de informações de afloramentos e aplicar ferramentas de análise estrutural no entendimento do padrão tectônico. Como objetivos específicos, enumeram-se:

- Mapeamento estrutural das deformações Pós-Campanianas na parte oeste da Bacia Potiguar ao longo do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas;
- Identificação de estruturas tectônicas e estabelecer sua relação com possíveis campos de esforços e eventos geológicos.

1.4 - Localização e Acesso

A área de estudo está localizada na Bacia Potiguar, na região dos municípios de Mossoró e Açu, onde ocorre a Formação Jandaíra (Fig 1.2).

A área de pesquisa apresenta uma superfície de 1.000 km² e está inserida na folha MOSSORÓ – SB.24-X-D-I, publicada pela SUDENE em 1971, na escala de 1:100.000. Foi usado o datum WGS 84. A área é delimitada pelos vértices com as seguintes coordenadas (Tab. 01):

Tabela 1:

Vértice	Latitude	Longitude
V1	5°12'11,45'' S	37°30'4,76'' W
V2	5°6'20,69'' S	37°23'45,04'' W
V3	5°29'14,76'' S	36°58'14,76'' W
V4	5°35'5,51'' S	37°4'47,89'' W

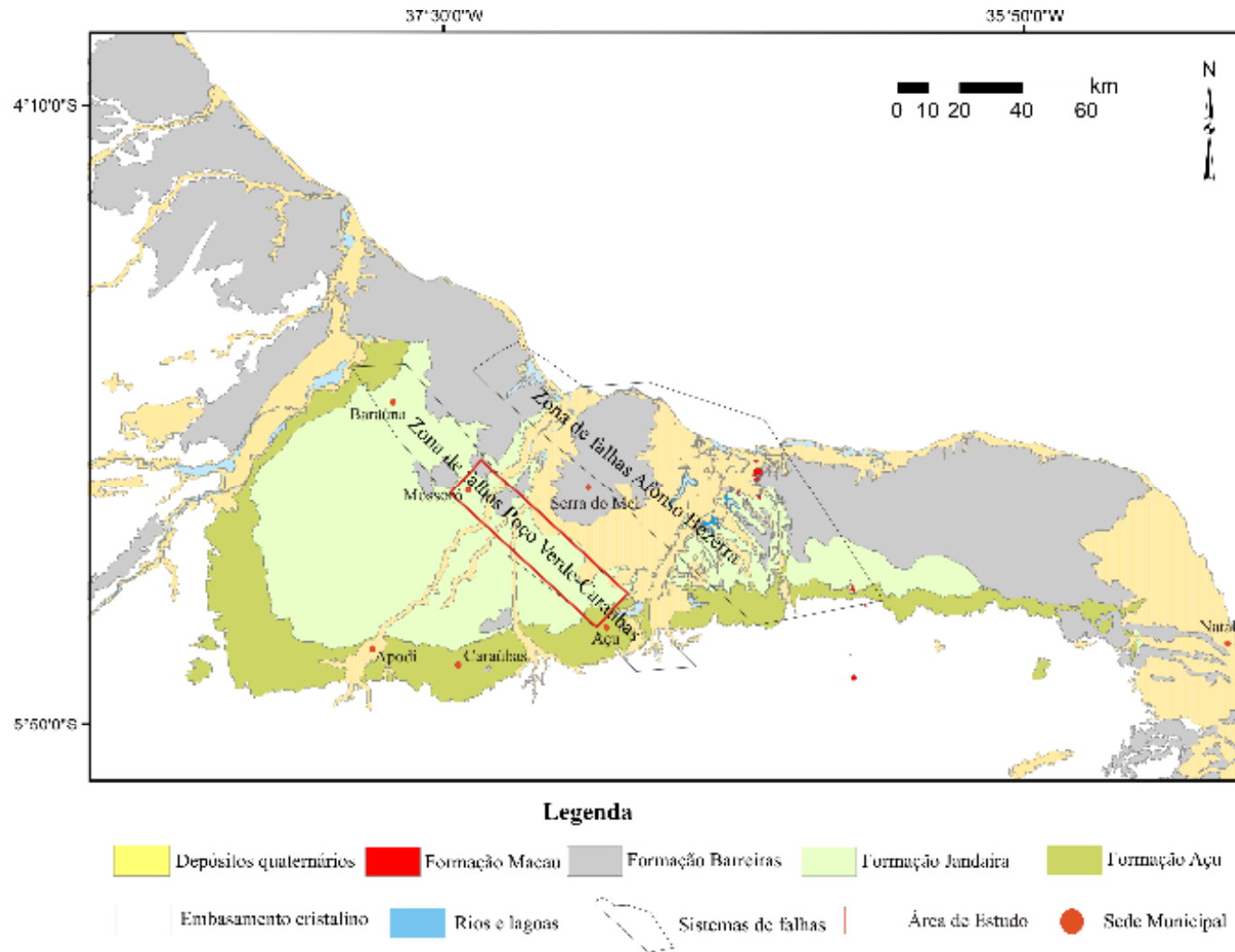


Figura 1.2 - Mapa geológico e de localização da área (Simplificado de CPRM 2006).

1.5. Metodologia

A pesquisa empregou uma metodologia que compreende quatro etapas incorporadas ao desenvolvimento do trabalho da seguinte forma:

1.5.1 - Primeira Etapa - Reconhecimento geológico e geomorfológico regional da área de estudo: A primeira etapa correspondeu ao reconhecimento geológico e geomorfológico regional da área a ser mapeada. Nessa etapa, obtiveram-se dados estruturais da bibliografia, separando pulsos tectônicos cinematicamente consistentes.

O mapeamento de feições geológicas e geomorfológicas da área teve como base imagens de satélite com resolução espacial de 30 m (Imagem Landsat 7, no modo pancromático e sintético com o modo multiespectral) e imagens geradas pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) com precisão vertical de 15 m.

O processamento, estudo e georreferenciamento das imagens e elaboração dos mapas temáticos digitais foram feitos com o uso do *software ARCGIS 9.2* e *ER Mapper 6.4*.

1.5.2 - Segunda Etapa - Mapeamento estrutural da zona de falha: Mapeamento de feições estruturais da área com detalhe nos afloramentos que apresentam feições estruturais para a coleta dos parâmetros tais como largura, espessura, cinemática, atitude de falhas.

1.5.3 - Terceira Etapa - Banco de dados e tratamento estatístico: Esta etapa constou da exportação dos dados obtidos nas fases anteriores para um banco de dados, de forma que os mesmos pudessem ser facilmente correlacionados entre si e com dados pré-existentes. O processamento dos dados geográficos (realce, mosaicaigem, georreferenciamento e construção de planos de informações, “*layers*”) foi feito a partir do *software ARCGIS* e os dados estruturais serão tratados pelo *software Daisy 3_472*.

Esta última etapa culminou com a junção de todos os dados obtidos para a criação de um padrão tectônico.

1.5.4 - Quarta Etapa – Elaboração da dissertação: Ao final das três etapas anteriores foi elaborada a presente dissertação de mestrado com todos os dados interpretados e suas devidas conclusões.

Capítulo 2 - Geologia Regional

2.1 – Introdução

A Bacia Potiguar está localizada no extremo nordeste brasileiro, ocorrendo em sua maior parte no Estado do Rio Grande do Norte e, parcialmente, no Estado do Ceará. Geologicamente, é limitada a noroeste pelo Alto de Fortaleza, que a separa da bacia do Ceará, a leste pelo Alto de Touros, e a sul, com as rochas do embasamento cristalino. A bacia abrange uma área de aproximadamente de 48.000 km² (Fig. 2.1), sendo que 21.500 km² encontram-se emersos e 26.500 km² submersos (Bertani *et al.*, 1989).

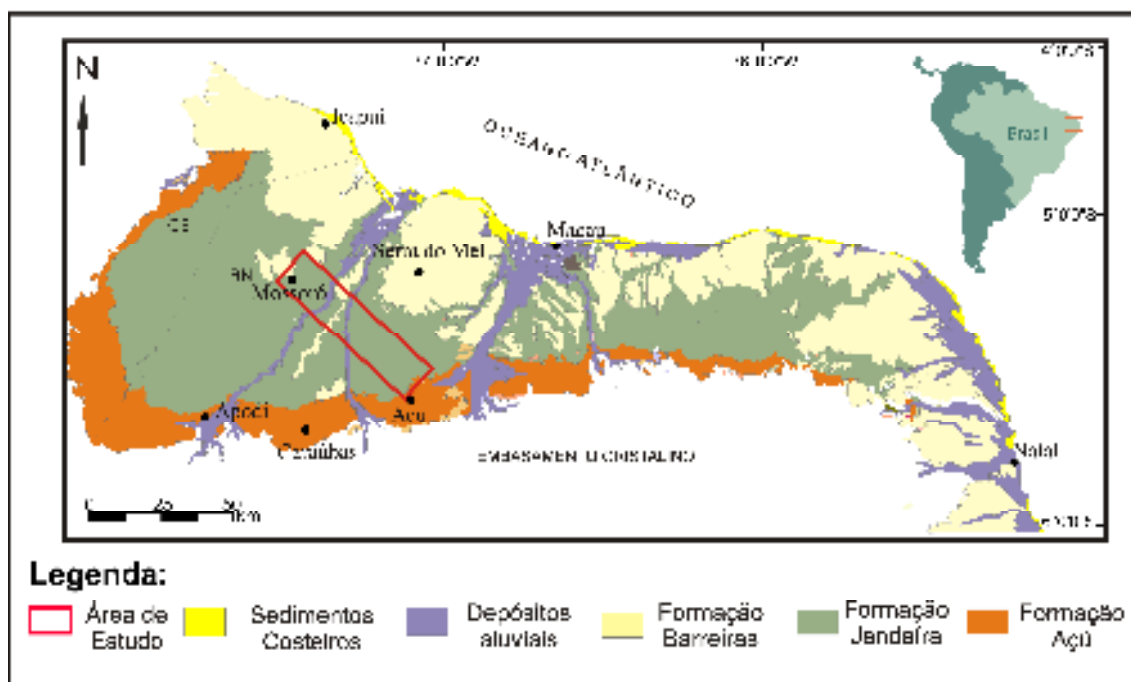


Figura 2.1 – Mapa geológico da parte emersa na Bacia Potiguar (Modificado de Angelin *et al.*, 2006).

A Bacia Potiguar (BP) está relacionada a uma série de bacias intracontinentais neocomianas que compõem o Sistema de Riftes do Nordeste brasileiro (Matos, 1987). Este sistema, análogo ao Rifte-Valley do Leste Africano, compreende as Bacias do Tucano, Jatobá, Rio do Peixe, Sergipe-Alagoas, Recôncavo, Potiguar e Araripe. Segundo Souza (1982), três estágios tectônicos principais podem ser distinguidos no seu registro estratigráfico: rifte, transicional e drifte.

Estruturalmente, a Bacia Potiguar é formada por um gráben desenvolvido no Eocretáceo de direção SW-NE, cujo embasamento foi recoberto por sedimentos do Aptiano e do Neocretáceo na parte terrestre, e por seqüências terciárias, na parte marinha (Bertani *et al.*, 1991).

Segundo Córdoba (2001), seu preenchimento sedimentar ocorreu exclusivamente durante o Cretáceo, e sua litoestratigrafia é composta pelos grupos Areia Branca, Apodi e Agulha.

2.2 - Arcabouço Estrutural

A Bacia Potiguar tem sua estrutura composta por três unidades básicas: plataformas do embasamento, altos internos e *grabens* contendo seqüências sedimentares distintas, desde neocomianas a terciárias (Bertani *et al.*, 1989) (Fig 2.2).

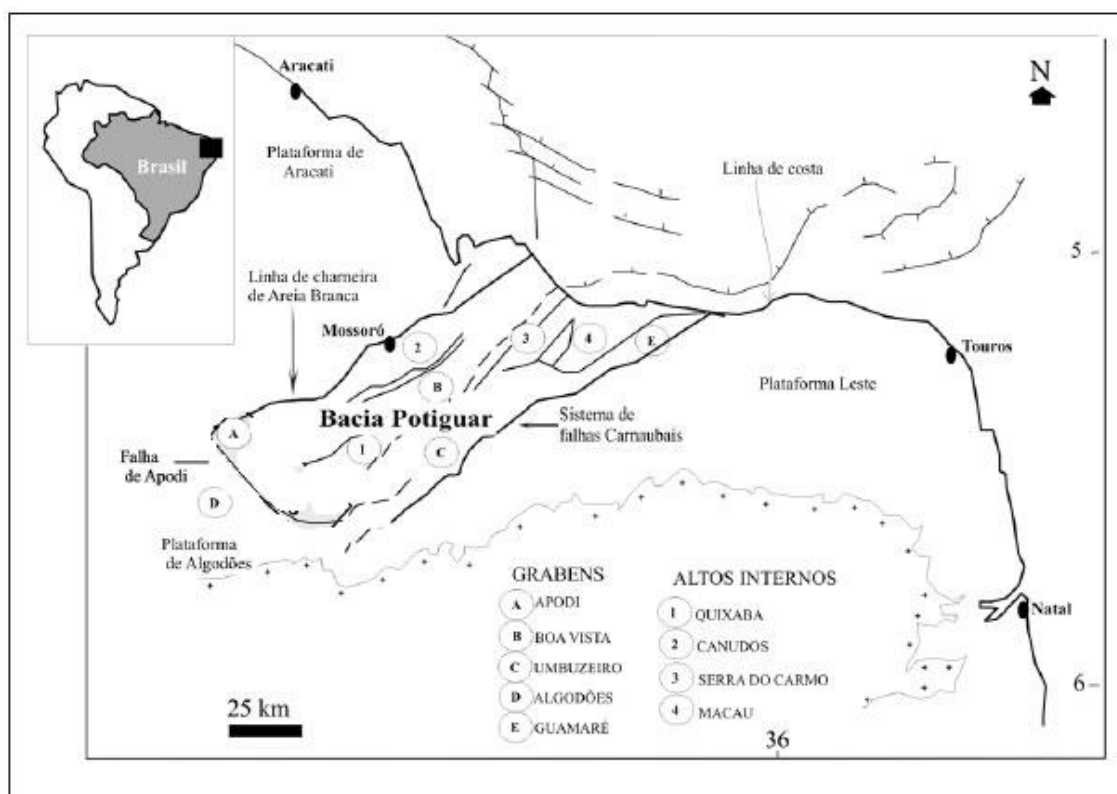


Figura 2.2 - Mapa simplificado do arcabouço tectônico da Bacia Potiguar (Modificado de Matos, 1992).

Os altos internos são representados pelas cristas alongadas do embasamento que separam os principais *grabens* (Bertani *et al.*, 1989). Os altos internos ou *horsts* de Macau, Serra do Carmo e Quixaba são os principais da bacia e são subparalelos aos

eixos dos *grabens* subjacentes. Nos *horsts* não foram verificadas as seqüências sedimentares do Eocretáceo devido a não-deposição ou à erosão.

Os *grabens* são divididos em emersos e submersos. Os *grabens* emersos mais importantes são os de Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista. Estes possuem feições lineares de direção NE-SW e são limitados por falhas normais de direção NE-SW e NW-SE. Os *grabens* da parte submersa da bacia possuem eixos orientados subparalelamente à atual linha de costa (Matos, 1992). As plataformas rasas do embasamento limitam os *grabens* centrais a oeste, pela plataforma de Aracati, e a leste, pela plataforma de Touros. Essas plataformas são recobertas por seqüências terciárias na porção submersa e por sedimentos do Aptiano e do Neocretáceo na porção emersa da Bacia Potiguar.

2.3 Estratigrafia

As seqüências estratigráficas da Bacia Potiguar estão subdivididas em três grupos (Araripe & Feijó, 1994). São eles Grupo Areia Branca, Grupo Apodi e Grupo Agulha, com a sedimentação ocorrida durante o Neocomiano até o recente (Fig. 2.3).

O Grupo Areia Branca é representado por rochas sedimentares clásticas, compreendendo as formações Pendência, Pescada, na fase rifte da bacia (Neocomiano) e Alagamar, no final da fase rifte (Aptiano) (Souza, 1982).

O Grupo Apodi é constituído pelas formações Açú, Ponta do Mel, Quebradas e Jandaíra, do Albiano ao Campaniano. Constituem uma seqüência transgressiva que se inicia com sedimentos continentais clásticos, principalmente arenitos e pelitos, que gradam para sedimentos de plataforma rasa e carbonatos, terminando a seqüência com folhelhos e carbonatos (Araripe & Feijó, 1994).

O Grupo Agulha abrange o sistema de leques costeiros, plataforma e talude, depositados entre o Neocampaniano e o recente, representados, respectivamente pelas formações Ubarana, Guamaré, Tibau e Barreiras. Formadas por rochas clásticas e carbonáticas de alta e baixa energia (Souza, 1982).

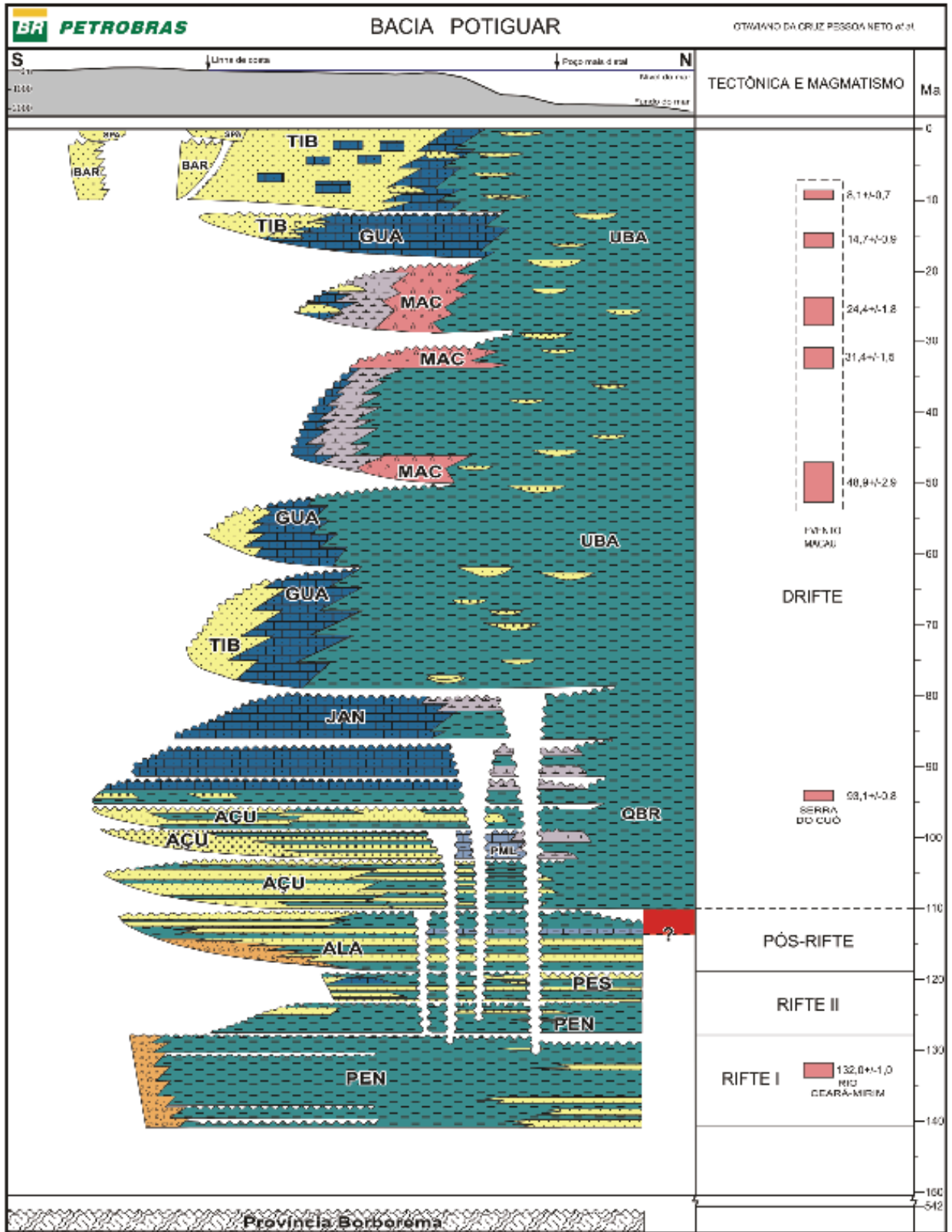


Figura 2.3: Coluna Estratigráfica da Bacia Potiguar (retirado de Pessoa Neto *et al.*, 2007).

2.4 – Evolução Tectono-Sedimentar

Existem vários modelos presentes na literatura que podem explicar o principal mecanismo de formação da Rifte Potiguar, dentre eles destaca-se Françaolin & Szatmari (1987) e Matos (1992).

Segundo Matos (1987), o rudimento dos riftes intracontinentais da Província Borborema ocorreu como resposta a um processo de estiramento e afinamento crustal atuante durante a fragmentação do Continente Gondwana. No modelo proposto por Matos (1987), o arranjo estrutural da Província Borborema foi um fator preponderante na definição da geometria e evolução das bacias que ali se implantaram.

Françaolin & Szatmari (1987) assinalam que a origem do Rifte Potiguar está inserida no contexto da evolução da margem equatorial atlântica, iniciado ao final do Jurássico. Segundo esses autores, a separação entre a América do Sul e a África gerou, na Província Borborema, esforços com distensão norte-sul e compressão leste-oeste que propiciaram o desenvolvimento de diversas bacias rifte sob regime transtensional (caso do Rifte Potiguar).

De acordo com Bertani *et al.* (1989), o preenchimento sedimentar da Bacia Potiguar está intimamente relacionado com uma fase rifte, dividida em diferentes estágios: Sin-Rifte I e Sin-Rifte II, desenvolvidos sob o regime predominantemente distensional, e Sin-Rifte III, desenvolvido em regime transtensional. Matos (2000) admitiu uma divisão com base na evolução da bacia propondo três estágios: pré, sin e pós-transformante.

O estágio Sin-Rifte I (Neojurássico) teve início na deformação distensional, com a deposição de clásticos em uma ampla depressão denominada Depressão Afro-Brasileira. Não há registros dessa fase na Bacia Potiguar.

O estágio Sin-Rifte II (Neoberriasiano/Eobarremiano) teve como atributos o desenvolvimento de bacias rifte intracontinentais controladas por falhas de rejeito, preferencialmente normais, definindo meio-*grabens* assimétricos e altos internos de direção geral NE-SW, os quais foram preenchidos pelos depósitos lacustrinos, fluvio-deltaicos e fandeltaicos que constituem a Formação Pendência.

O estágio Sin-Rifte III (Neobarremiano/Eoaptiano) teve como característica a implantação do regime transcorrente/transformante ao longo da futura margem equatorial, causando grande mudança na cinemática rifte. Este evento provocou um deslocamento do eixo de rifteamento para a porção submersa da Bacia Potiguar, ao mesmo tempo em que causou soerguimento e erosão na porção emersa. De acordo com Dissertação de Mestrado - PPGG/ UFRN

Pessoa Neto *et al.* (2007), o registro dessa fase na Bacia Potiguar é restrito à porção submersa, sendo representado pelas formações Pendência e Pescada.

O final da fase rifte foi marcado pela deposição da seqüência neoptiana, representada pelos sedimentos da Formação Alagamar, sobre uma discordância regional (mais evidente na porção emersa), em resposta ao início de uma subsidência termal lenta e generalizada (Pessoa Neto *et al.*, 2007).

A partir do Albiano, teve início à deposição da seqüência flúvio-marinha transgressiva na Bacia Potiguar, representados pelos sedimentos siliciclásticos das formações Açú e Quebradas, bem como pelo desenvolvimento mais restrito de uma plataforma carbonática albiana denominada Formação Ponta do Mel (Soares *et al.*, 2003).

A transição do Mesozóico para o Cenozóico é marcada por dois eventos representativos para a evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar: o Magmatismo Serra do Cuó e o soergimento da bacia, durante o Mesocampaniano.

2.5 – Caracterização Estrutural Pós-Rifte

A Formação Jandaíra é afetada por uma infinidade de estruturas rasas representadas por falhas normais, reversas, transcorrentes (dextrais e/ou sinistrais), por dobras, juntas (secas, distensionais preenchidas, seja por calcita ou por tufa calcária, e clivagem de fratura, sistemáticas ou não sistemáticas, bem como estilólitos tectônicos. Exemplos de estruturas primárias também são vistos, como estilólitos diagenéticos paralelos ao acamamento primário (So) (Dantas, 2004).

Os campos de tensões que afetam uma determinada região estão relacionados a eventos geológicos de mega escala como a tectônica de placas. Oliveira *et al.* (1996) identificou dois campos com compressão NNW e NNE de idades Albiana e Turoniana, respectivamente. Segundo Françolin & Szatmari (1987), após o Campaniano (Cretáceo Superior), um evento compressivo de direção N-S foi provocado durante o processo de separação dos continentes Sul-Americano e Africano.

Sousa & Bezerra (2005) caracterizaram dois campos de tensões para a Bacia Potiguar na sua fase rifte, sendo um campo que atuou do Campaniano ao Mioceno e outro do Plioceno ao Quaternário. O primeiro campo afetou apenas as formações Açú e Jandaíra, quando ocorreu o final do Vulcanismo Macau e o início da deposição da Formação Barreiras, no Mioceno-Plioceno. Esta fase foi dominada por compressão, eixo de tensão σ_1 , predominantemente sub-horizontal de orientação aproximada N-S e

distensão aproximada E-W. Provavelmente foi o mais importante campo de tensão que afetou a área de estudo, devido a uma infinidade de estruturas com penetratividade e ampla distribuição na bacia.

O segundo campo de tensões, caracterizado por Sousa & Bezerra (2005) atuou do Plioceno ao Quaternário, e afeta todas as unidades litoestratigráficas da bacia sendo o único campo a ser observado na Formação Barreiras e sedimentos quaternários. Este campo de tensões é caracterizado por distensão (σ_3) de direção aproximada N-S. O campo de tensão Plioceno-Quaternário coincide com o campo neotectônico, identificado por Bezerra & Vita-Finzi (2000), que afeta a Bacia Potiguar. Estes autores concluíram que este campo de tensão teria iniciado sua atuação desde o Plioceno (Terciário Superior) até os dias atuais, no Holoceno, e corresponde a um campo de tensão desenvolvido em um domínio transcorrente.

Sena (2005) também identificou quatro campos de tensão Pós-Campanianos que deformam a Formação Jandaíra. Segundo Sena (2005) os campos nomeados de 1 e 2 apresentam compressões NNE e NNW, respectivamente, são os mais antigos e teriam atuado entre o Campaniano e o Mioceno. Esses dois campos juntos são responsáveis pela geração da maioria das falhas normais na Formação Jandaíra. Os campos 3 e 4 apresentam compressões ENE e ESSE, respectivamente, teriam se formados e atuados no contexto neotectônico, estabelecido por Ferreira *et al.* (1998), Bezerra & Vita-Finzi (2000) e Moraes Neto (2003). Estes autores identificaram um campo regional com compressão E-W e distensão N-S, relacionado ao empurrão da dorsal oceânica. A atuação destes campos está relacionada ao período entre o Plioceno e o Quaternário.

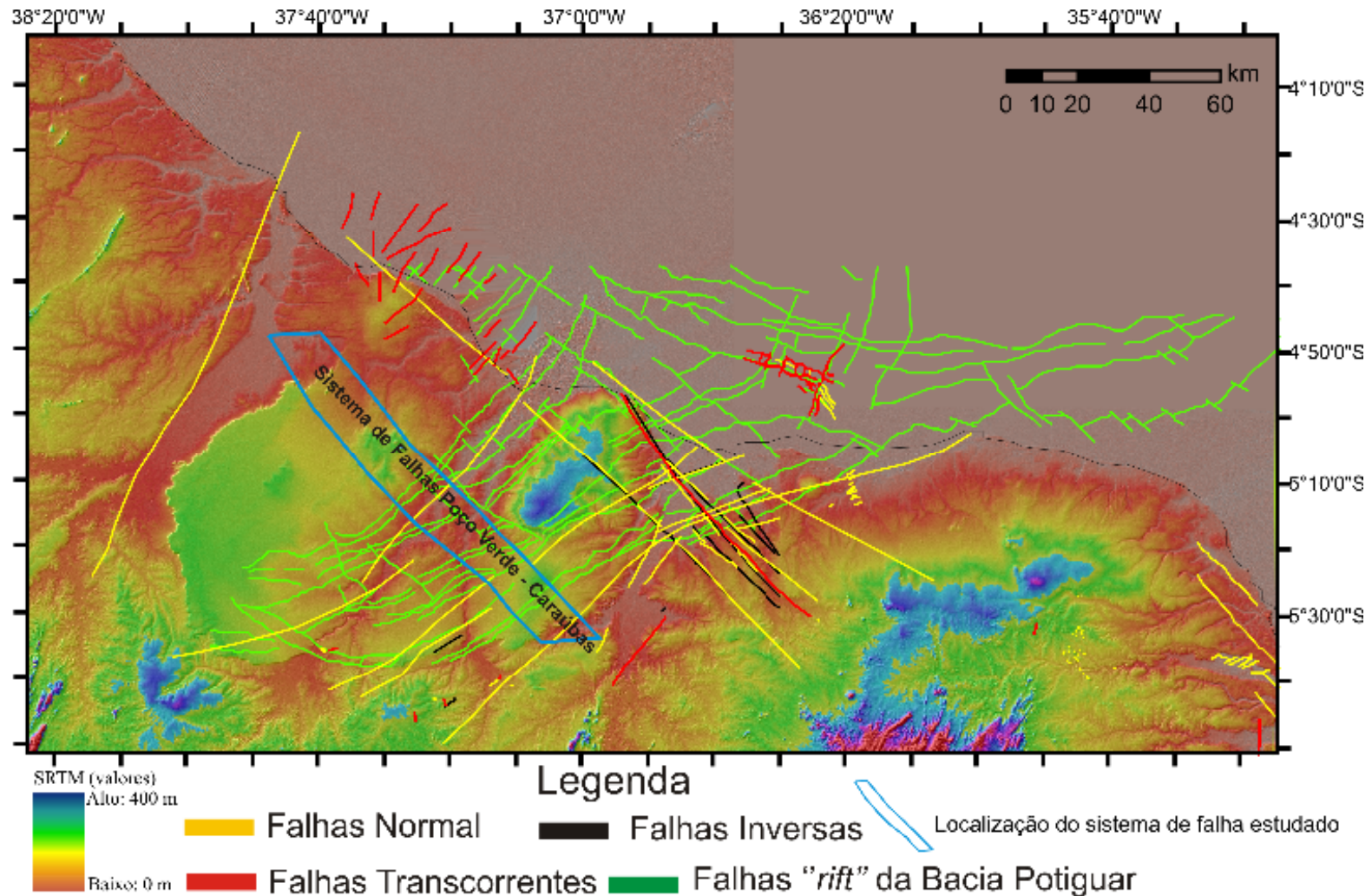


Figura 2.4 – Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar superposto a uma imagem SRTM.

Capítulo 3 – Análise e Interpretação dos produtos digitais de sensoriamento remoto

3.1. Introdução

Este Capítulo tem por objetivo apresentar os resultados da extração dos lineamentos existentes na área de estudo para uma interpretação detalhada. Este capítulo apresenta também análises estatísticas quanto à direção azimutal, frequência e tamanho desses lineamentos, além de uma interpretação através de combinação RGB das unidades geológicas presentes na área de estudo.

O termo lineamento teve várias definições ao longo dos anos. O'Leary & Simpson (1975) e Sabins (1978) definiram lineamento como sendo uma feição linear de âmbito regional que se expressa na topografia pela morfologia de vales, cristas, segmentos de drenagem e anomalias tonais. Estas feições seriam controladas estruturalmente por foliações, juntas/fraturas e falhas. Essa concepção descrevia os lineamentos associados à deformação rúptil e dúctil, restringindo esta definição apenas aos aspectos relativos a esse tipo de deformação.

Entretanto, Wheeler (1983) sugeriu alguns critérios para avaliação dessas feições lineares reveladas por sensores remotos: (a) objetividade de definição numa feição; (b) constância das feições quanto à direção azimutal, comprimento e continuidade espacial; (c) certeza com sua classificação para distinguir entre as reais feições e apenas feições especulativas; (d) justaposição com elementos geológicos cartografados.

Mais recentemente, Wise *et al.* (1985) e Hancock *et al.* (1987) concluíram que lineamentos são elementos associados predominantemente à deformação frágil, devido ao fato de que essas deformações são as mais conspícuas, extensas e constituem os principais modeladores da topografia recente. Soma-se a isso o fato de que as estruturas dúcteis, por vezes, apresentam inúmeras reativações da crosta em ambientes frágeis.

De fato, a definição de Wise *et al.* (1985) e Hancock *et al.* (1987) seria a mais apropriada para o presente estudo, tendo em vista que a área de trabalho é fortemente influenciada por deformações frágeis, grandes modeladores da topografia.

No presente trabalho foram utilizados dois tipos de sensores remotos para análise de lineamentos: o passivo, que mede a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos e provém de uma fonte externa (e.x. do sol), ou seja, ele dependente de uma fonte

externa, é composto por imagens orbitais do satélite *Landsat 7-ETM+* da órbita 215 e 216, ponto 64, e o ativo, que possui uma fonte de radiação, isto é, não depende de uma fonte externa para irradiar o alvo é composto por imagens digitais do radar *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Ambos os produtos foram usados para obtenção de dados geomorfológicos, contatos litológicos, dados altimétricos, litologias e principalmente lineamentos para correlações com dados estruturais. Estes produtos de sensores remotos possuem características diferentes, conforme é mostrado na Tabela 3.1. Os produtos utilizados neste trabalho apresentam resolução média variando em centenas e dezenas de metros de resolução espacial.

PRODUTOS DE SISTEMA DE SENSORES ORBITAIS		
Imagens Orbitais	SRTM	<i>Landsat 7 EMT+</i>
Sistema sensor	Ativo	Passivo
Resolução espectral	Bandas C com comprimento de onda 6,0 cm	1,2,3,4,5,7 e 8 (PAN)
Resolução Espacial	90 m	30 m (bandas individuais) e 15 m (modo pancromático)
Dados altimétricos	sim	não
Escala de Trabalho	1:200.000	1:50.000
Área de Cobertura de cada cena	global	185 km x 185 km
Data do imageamento	21/08/2002 (órbita 216) e 13/07/2002 (órbita 215)	Fevereiro de 2000

Tabela 3.1 - Características do STRM e Landsat 7+ (Fonte: NASA 2002, site: <http://southport.jpl.nasa.gov/> consultado em 10/09/2008).

O tratamento das imagens *Landsat 7 EMT+* e de radar *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) foi feito através dos softwares *ER Mapper 6.4* e *ArcGis 9.2*. A imagem *Landsat 7 EMT+* foi submetida a vários tratamentos como uma combinação de cenas no sistema *RGB*, entre as bandas espectrais, com o intuito de visualizar litologias, drenagem e principalmente lineamentos. A imagem *Landsat 7 EMT+* foi submetida às filtragens direcionais NW, NE, N-S e E-W na banda 4, em tons de cinza, ressaltando os lineamentos rúpteis. A imagem bruta SRTM foi submetida também a um sombreamento artificial de relevo, denominado *Hillshade*. Esse tratamento proporcionou um relevo associado à altitude, bem como uma visão tridimensional do relevo (Fig. 3.1). Entretanto, notou-se que esta última imagem mostra

poucos lineamentos relevantes ao presente trabalho. Por este motivo, a análise de lineamentos no item a seguir será feita preferencialmente nas Imagens *Landsat 7 EMT+*.

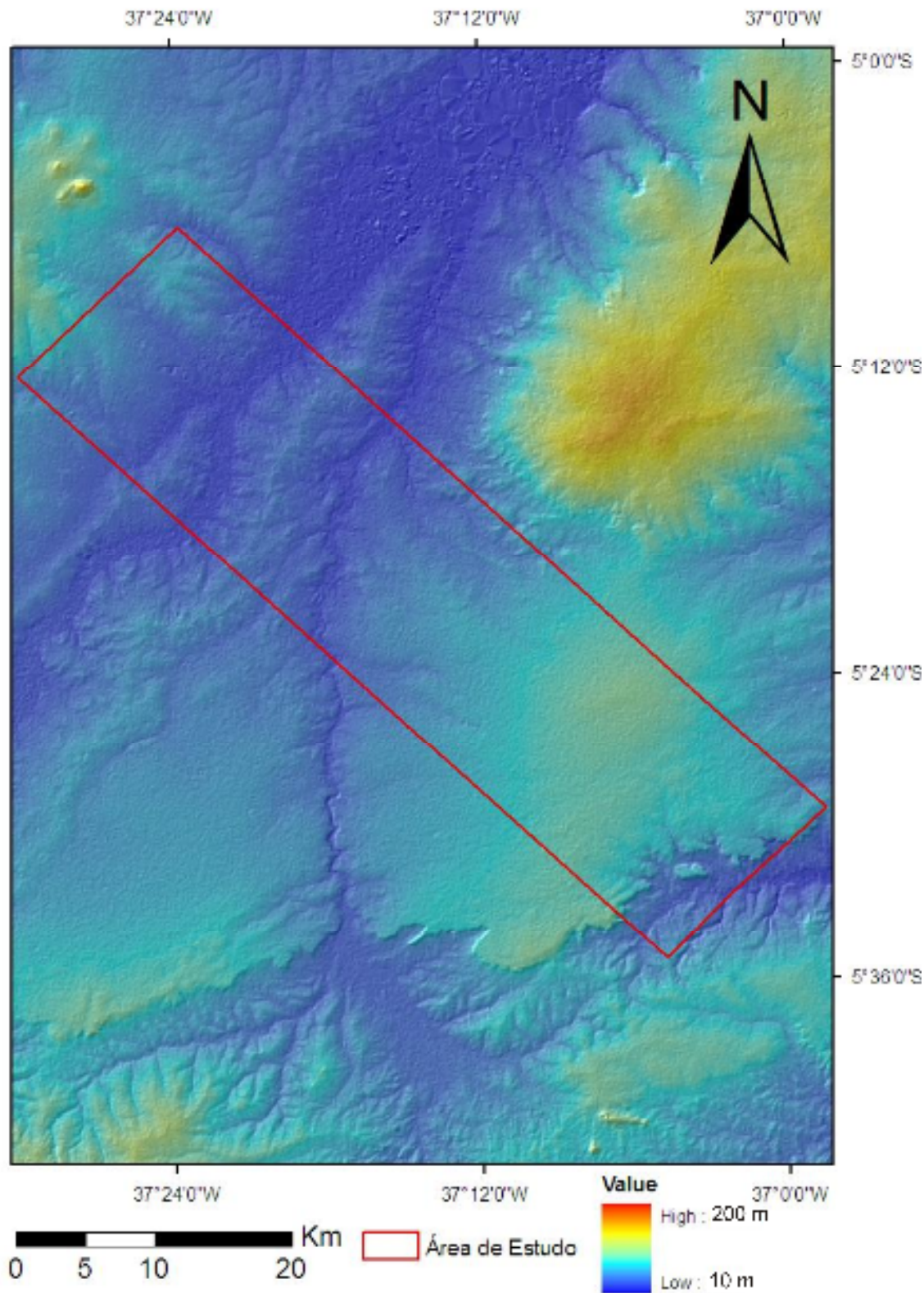


Figura 3.1 – Modelo de sombreamento artificial do relevo (*Hillshade*) superposto ao Modelo Digital de Elevação obtido a partir da imagem de radar tratada no *software* ArcGis 9.2.

3.2. Análise de imagens Landsat 7+ - combinações coloridas RGB

O intuito principal das combinações coloridas RGB feitas a partir de imagens Landsat 7+ foi à visualização de litologias, drenagens e geomorfologia. Assim, foram realizadas diversas combinações e a que melhor se adaptou a área de estudo foi à combinação RBG 321, que atendeu aos diversos objetivos acima.

A combinação RGB 321 tornou possível a delimitação da área da drenagem, correspondente ao Rio Mossoró, que se encontra na porção Norte da área em estudo (Fig. 3.2). Esta análise possibilitou também a delimitação de afluentes do Rio Assu, na parte sudeste da área. Os depósitos aluvionares são caracterizados por uma coloração mais clara e um pouco azuladas. Esta imagem também possibilitou visualizar a vegetação que abrange quase a totalidade da área em estudo, composta por uma cor verde claro a escuro.

Essa combinação permitiu identificar o contato existente entre as formações Açú e Jandaíra, localizado no extremo sul da área em estudo. A Formação Açú, localizada no extremo sul da área, encontra-se com coloração esbranquiçada, enquanto os carbonatos da Formação Jandaíra, localizados na porção central da área e em seu extremo leste e sul, são caracterizados por uma coloração amarronzada. As unidades mais recentes compostas pela Formação Barreiras e depósitos aluvionares antigos e recentes encontra-se nas margens do Rio Mossoró com uma coloração marrom claro e tons de verde mais escuro (Figs. 3.2 a e b).

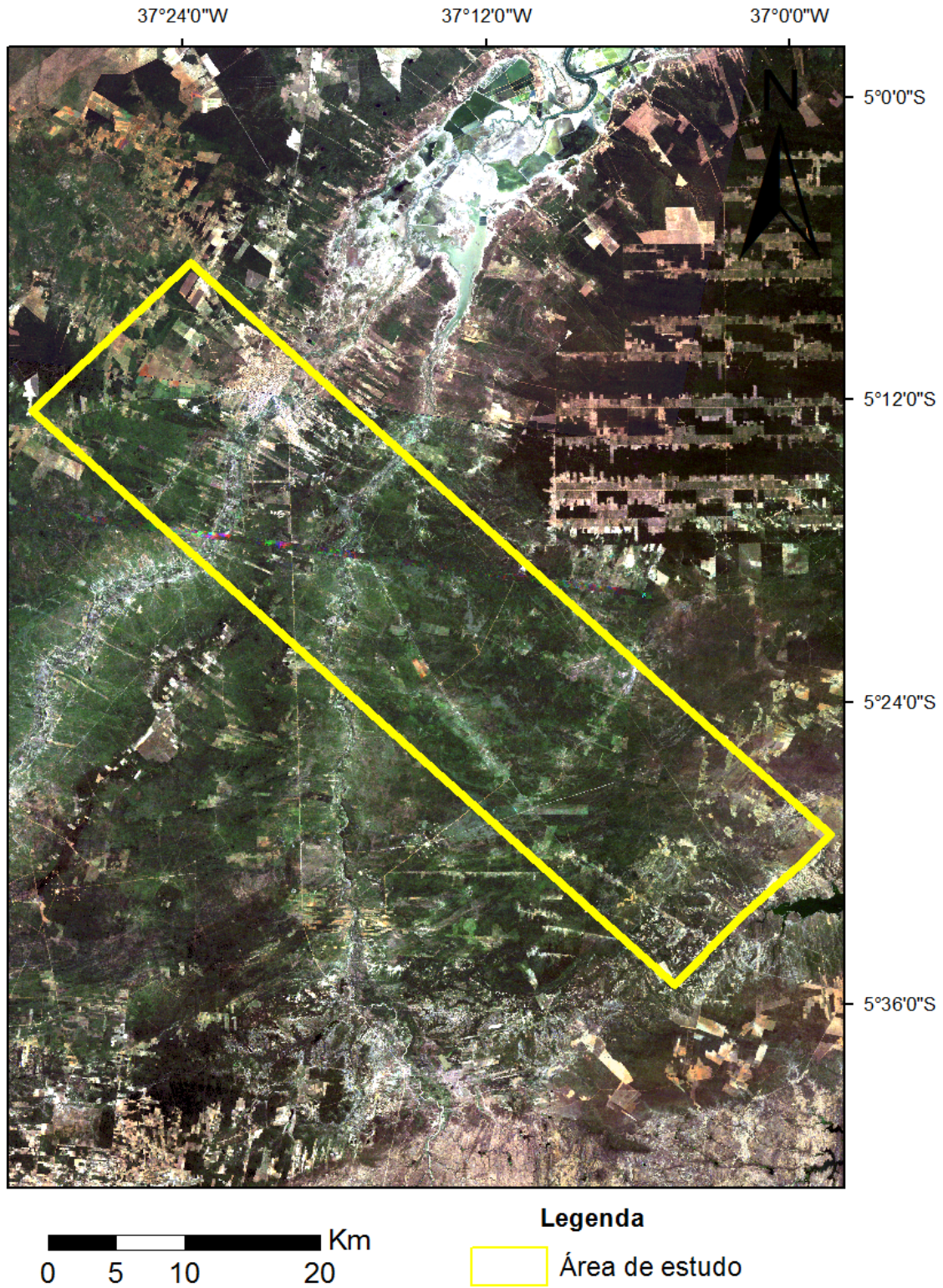


Figura 3.2 a – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no *software ER Mapper 6.4*, sem interpretação.

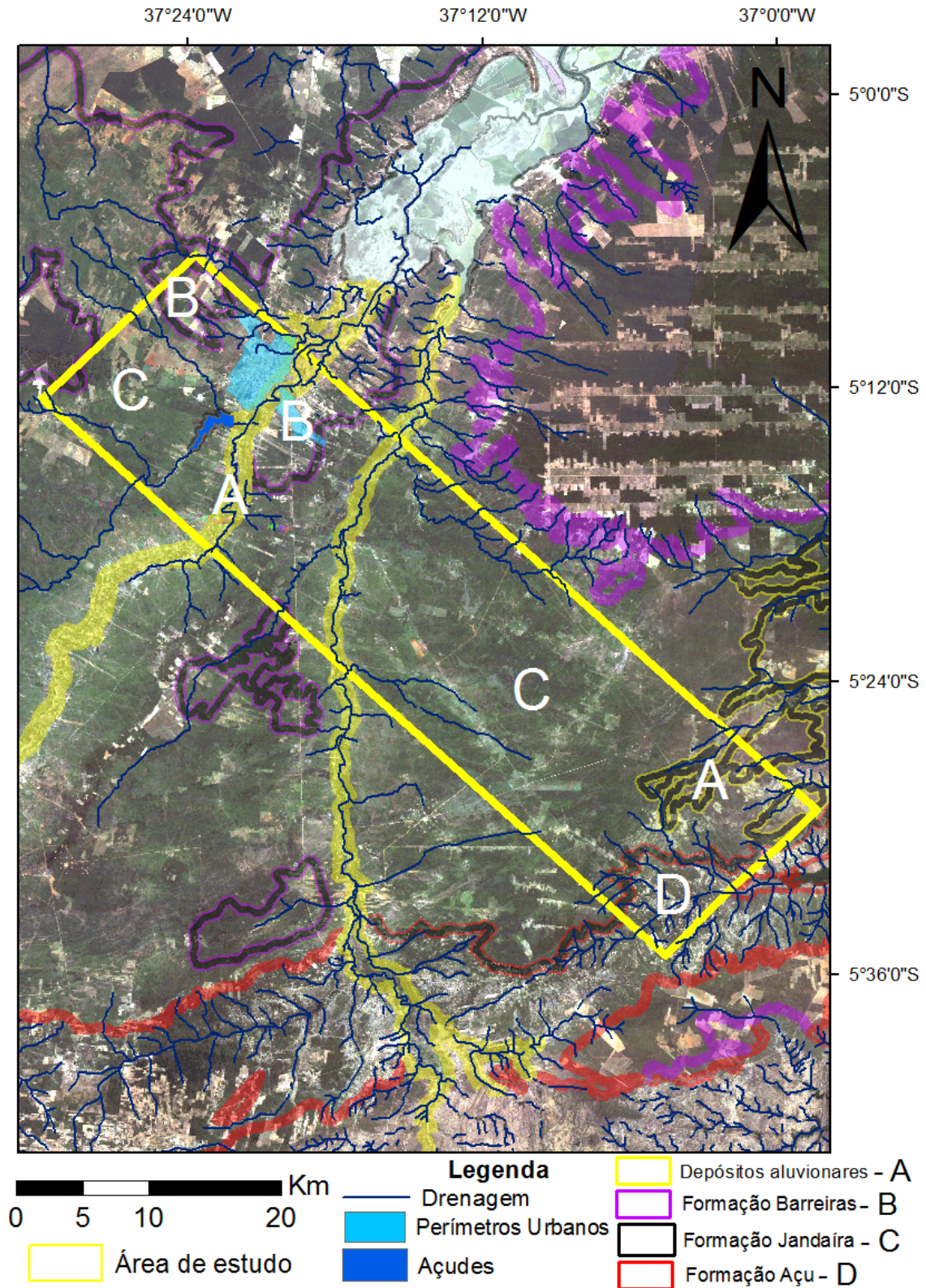


Figura 3.2 b – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no *software ER Mapper 6.4*, para reconhecimento das unidades litológica, açudes e drenagem da área em estudo, interpretada.

3.3. Extração, análise e interpretação de lineamentos

A extração dos lineamentos foi realizada na banda 4 da imagem *Landsat 7-ETM+*, com resolução espacial de 30 m e que possui características que servem para análises e mapeamentos de feições geológicas e estruturais, e na imagem de radar *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). A partir de técnicas de realce digital por filtragem direcional foi possível traçar quatro filtros direcionais NW-SE, NE-SW, N-S e E-W (Figs. 3.3 e 3.4). Tais filtros assinalam as altas frequências espaciais das imagens expressas pelas fortes transições de níveis de cinza (Amaro, 1998).

A filtragem direcional consiste no cálculo da primeira e segunda derivadas dos níveis de cinza da imagem, de acordo com a direção preferencial predisposta na matriz em convolução. A filtragem direcional se distingue das demais técnicas de filtragem espacial pela habilidade em evitar a tendência do realce preferencial referente à direção da fonte do imageamento, na disposição de atributos direcionais em operações matemáticas (Drudy, 1986). Esse fato permite a melhoria na percepção dos lineamentos dispostos paralelamente ao imageamento, que não seriam favorecidos em condições naturais (Deslandes & Gwyn, 1991).

Na área estudada, foi confeccionado um mapa de lineamentos, que foi sendo continuamente confrontado com dados estruturais coletados em campo, para que tais lineamentos assumissem um significado estrutural. A análise estatística dos lineamentos foi feita com *software Daisy 3_472*. Este *software* permitiu o cálculo da distribuição da frequência do azimute ou do comprimento dos lineamentos obtidos na etapa anterior, gerando um banco de dados com todas as direções dos lineamentos. Isto possibilitou a confecção de dois diagramas de rosetas, normalizados em relação à quantidade e em relação ao tamanho dos lineamentos (Figs. 3.5 e 3.6).

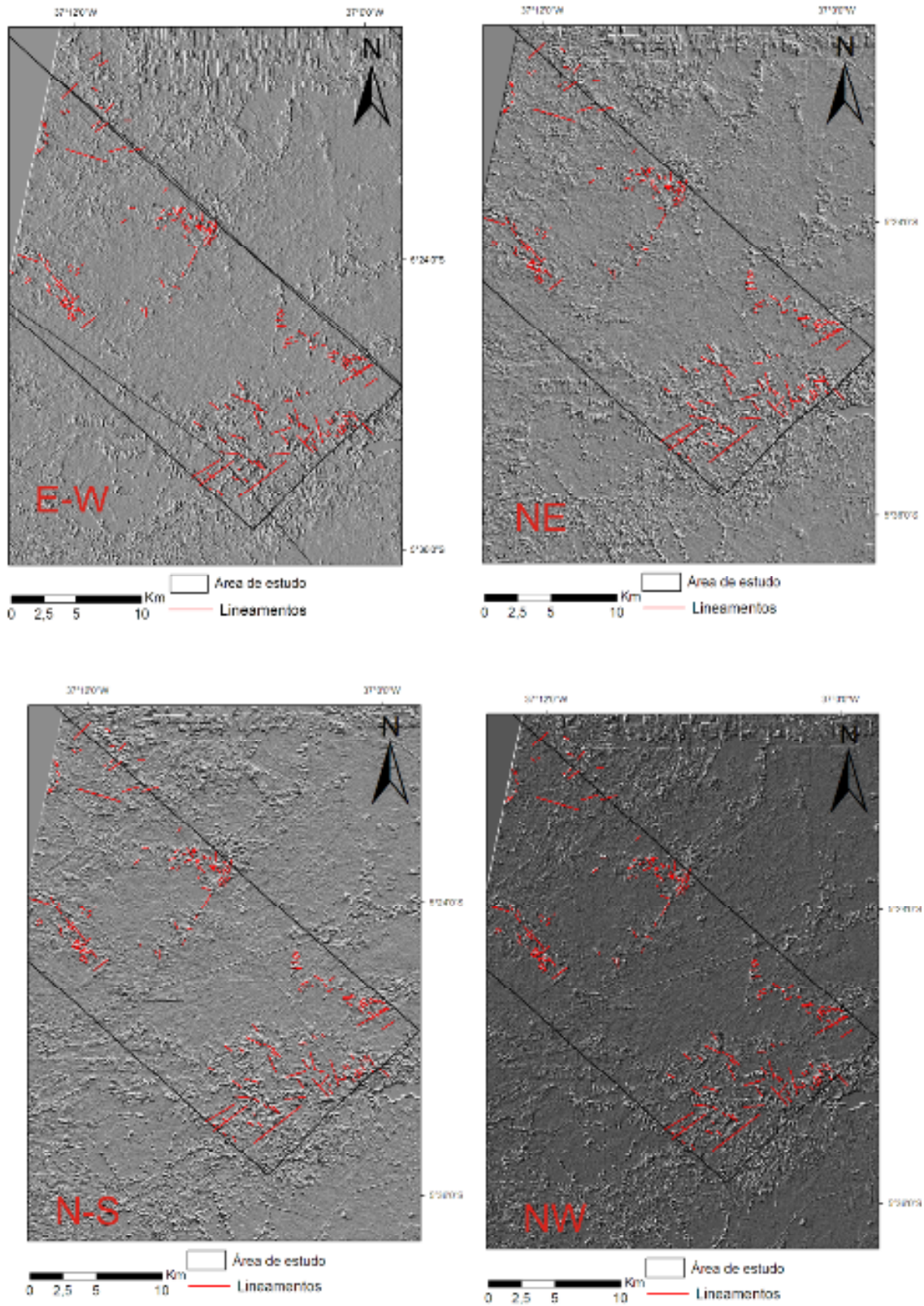


Figura 3.3 – Quatro filtros direcionais (E-W, NE, N-S, NW) na cena 215, órbita 64 da imagem *Landsat 7 ETM+* com a banda 4.

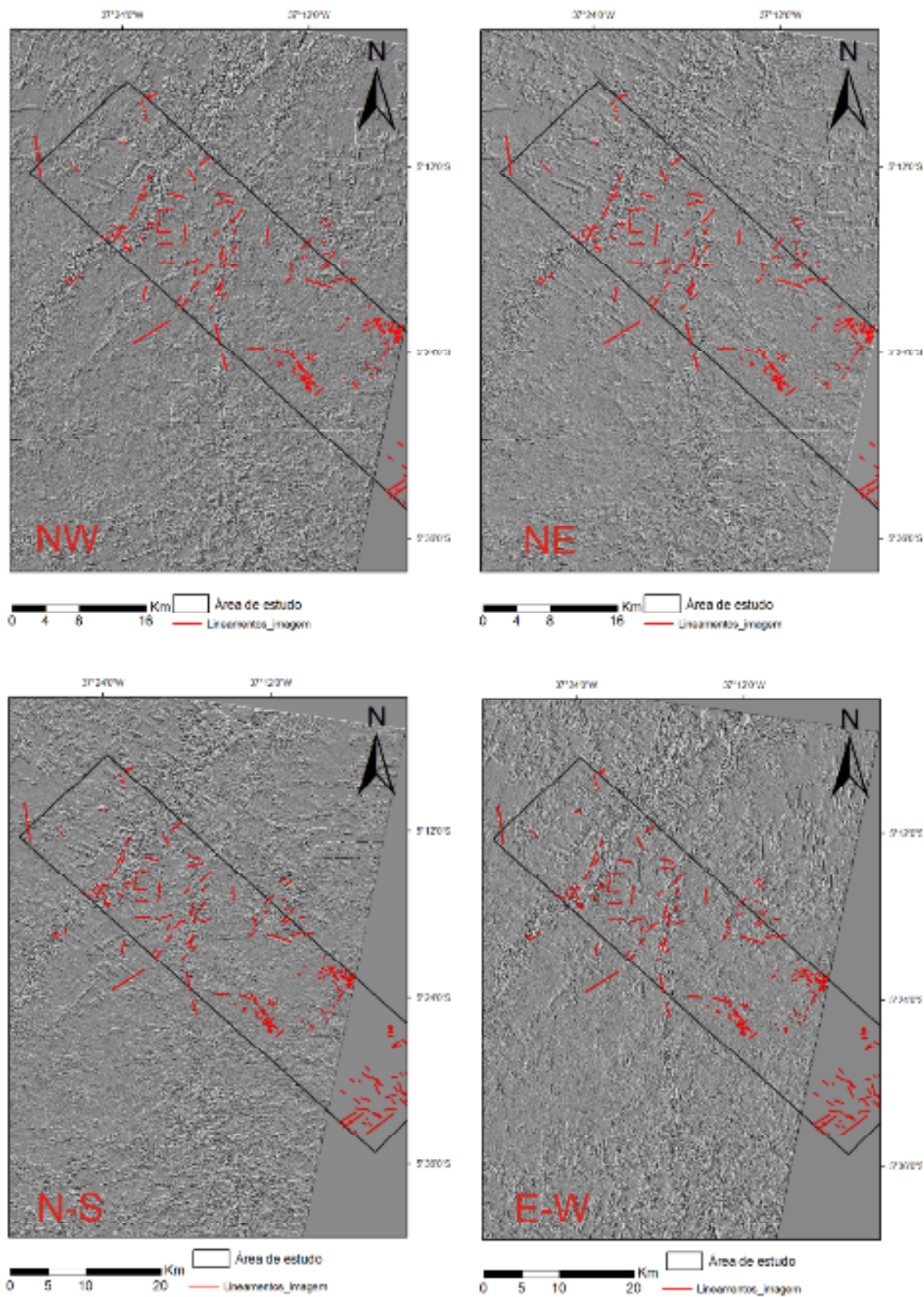


Figura 3.4 – Quatro filtros direcionais (E-W, NE, N-S, NW) na cena 216, órbita 64, da imagem *Landsat 7 ETM+* com a banda 4.

A análise e extração dos lineamentos foram feitas de maneira manual a partir da vetorização. A maior quantidade de lineamentos se concentra na direção NW-SE (49%), muito frequente nos “lajedos” (afloramentos) da área. Tais afloramentos mostram lineamentos regulares que podem representar juntas e falhas existentes na área e que têm grande relação com o Sistema de Falha Poço Verde-Caraúbas. A direção NE-SW apresenta 27% dos lineamentos, possui lineamentos regulares principalmente na região do Rio Mossoró e menos regulares quando são interceptados pelo lineamento de *trend* NW-SE, podendo representar juntas e falhas. Os *sets* N-S (16%) e E-W (8%) encontram-se normalmente interceptados por outros lineamentos, estão bem distribuídos ao longo da área e podem caracterizar ruídos no processo de filtragem. Porém, se analisarmos esses lineamentos com relação ao seu tamanho podemos afirmar que os maiores lineamentos estão na direção NE-SW (39%), seguidos da direção NW-SE (26%), logo após E-W (20%) e por fim N-S (15%) (Fig. 3.6).

Ao analisarmos o comportamento dos lineamentos em relação a cada filtro, notamos uma forte influência no processo de filtragem das imagens. Quando se aplica um filtro de direção NW-SE, os lineamentos que se destacam são os de direção NE-SW (38%), seguido dos lineamentos NW-SE (29%), N-S (18%) e por fim E-W (16%) (Fig. 3.7). Aplicando filtros na direção NE-SW, a direção NW-SE se destaca dos demais (38%), seguida pela direção NE-SW (29%), N-S (20%) e E-W (14%) (Fig. 3.8). Já aplicados filtros na direção E-W, destaca-se os lineamentos N-S (39%), seguidos pelos lineamentos NW-SE (26%), NE-SW (24%) e por fim E-W (11%) (Fig. 3.9). Por fim, aplicando filtros na direção N-S são ressaltados lineamentos na direção E-W (40%), posteriormente a direção NW-SE (27%), seguida pelos lineamentos NE-SW (17%) e por fim N-S (16%) (Fig. 3.10).

Assim, os filtros exercem forte influência na composição final dos lineamentos, tendo em vista que ao aplicar o filtro em uma direção, o lineamento que se destaca está perpendicular à direção do filtro. As filtrações atuaram de maneira a influenciar o resultado total dos lineamentos (Figs. 3.5 e 3.6) ajudando a destacar mais ainda o lineamento NW-SE, *set* este representativo do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas.

Lineamentos_quantidade

Frequency Gaussians
Total Data: 95

GAUSSIAN PARAMETERS		
#	%	Azimuth
1	18,81	0,3121°
2	44,46	-87,88°
3	27,94	51,08°
4	4,796	-37,74°
5	5,382	-90,21°
6	2,868	-53,03°

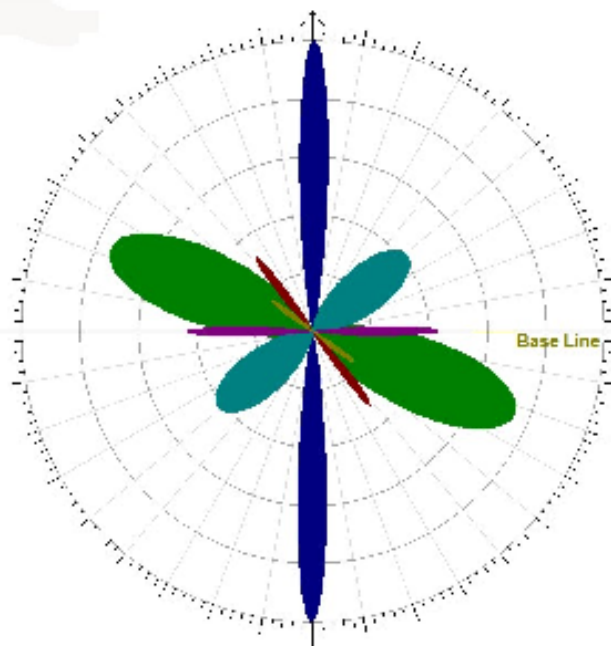


Figura 3.5 – Diagrama de rosetas normalizado pela quantidade de lineamentos, usando os resultados de todos os filtros e imagens.

tamanho

Frequency Gaussians
Total Data: 85

GAUSSIAN PARAMETERS		
#	%	Azimuth
1	20,26	-89,26°
2	24,90	45,88°
3	14,15	71,20°
4	13,33	-26,64°
5	14,41	2,780°
6	13,27	-53,85°

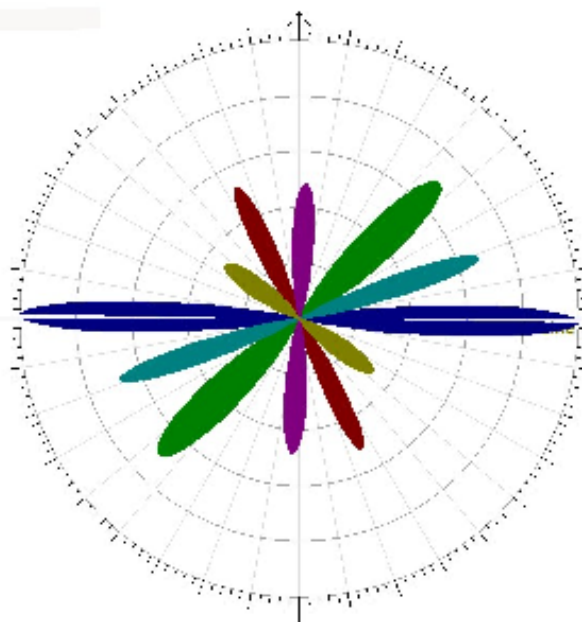


Figura 3.6 – Diagrama de rosetas normalizados pelo tamanho, usando os resultados de todos os filtros e imagens. Cada comprimento de lineamento varia de 100 m a 3.000 m.

Filtro NW-SE

Frequency Gaussians
Total Data: 65

GAUSSIAN PARAMETERS		
#	%	Azimuth
1	17,70	0,3281°
2	16,38	-90,27°
3	37,85	48,42°
4	28,26	-64,95°

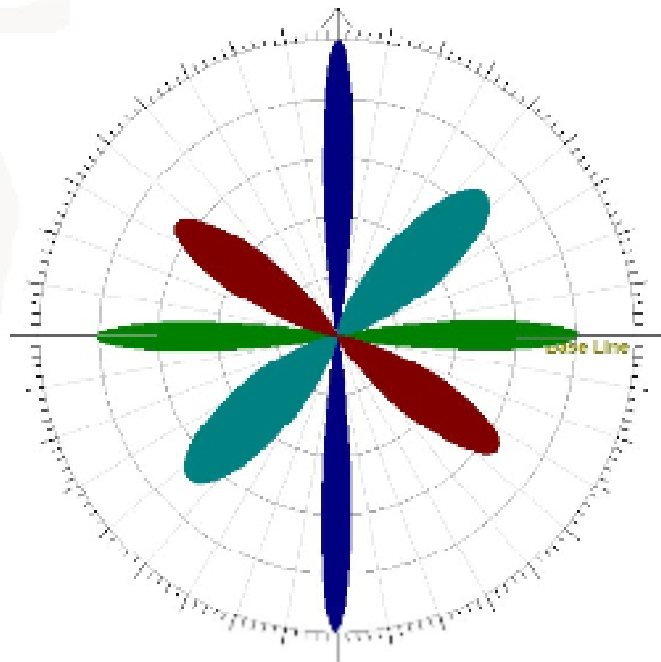


Figura 3.7 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção NW.

Filtro NE-SW

Frequency Gaussians
Total Data: 78

GAUSSIAN PARAMETERS		
#	%	Azimuth
1	20,67	0,3385°
2	37,56	-06,24°
3	14,21	-89,80°
4	28,45	51,83°

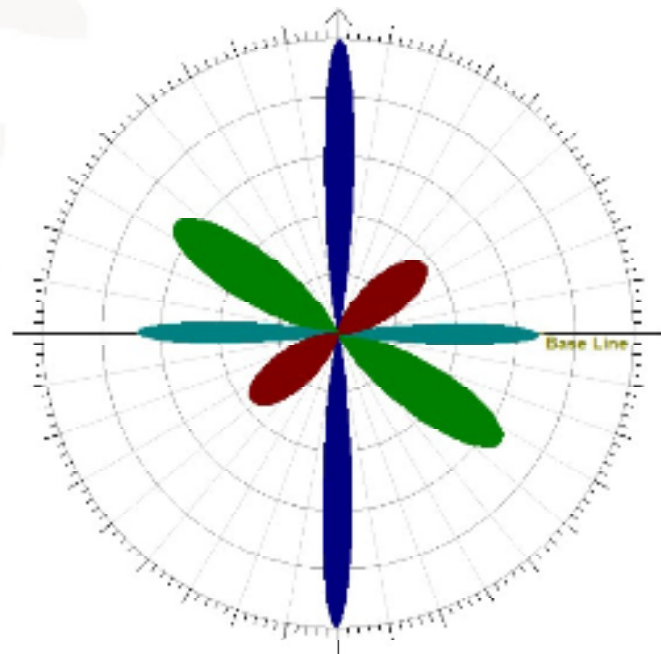


Figura 3.8 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção NE.

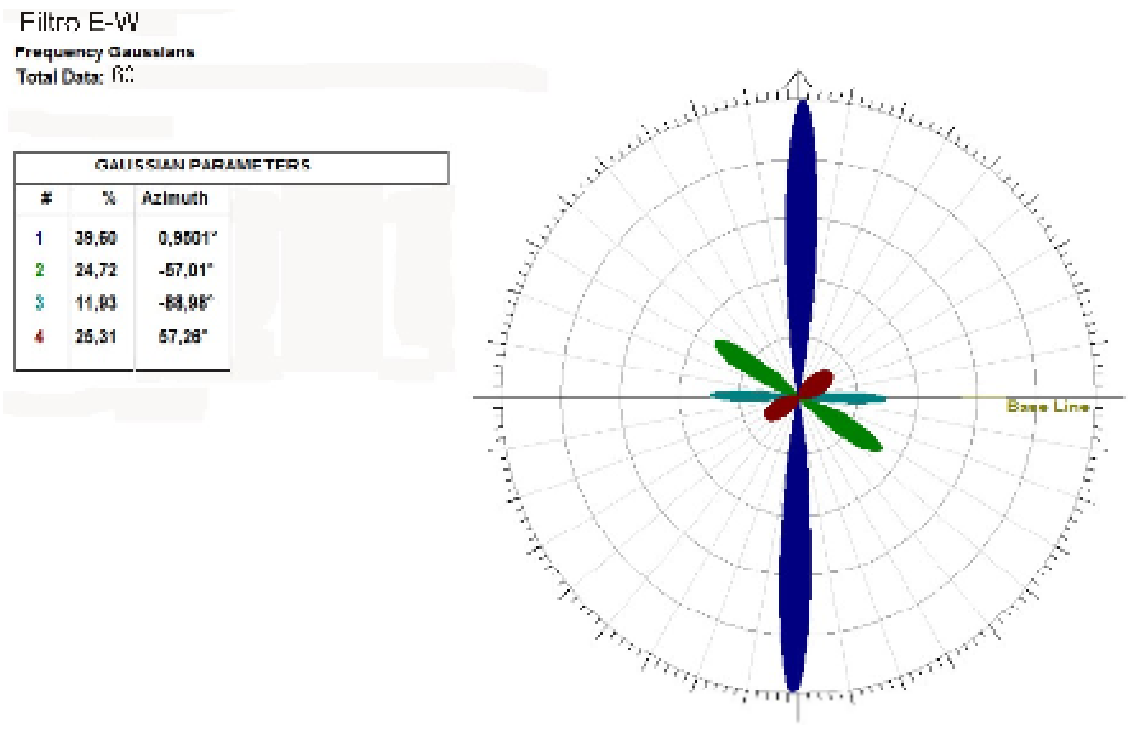


Figura 3.9 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção E-W.

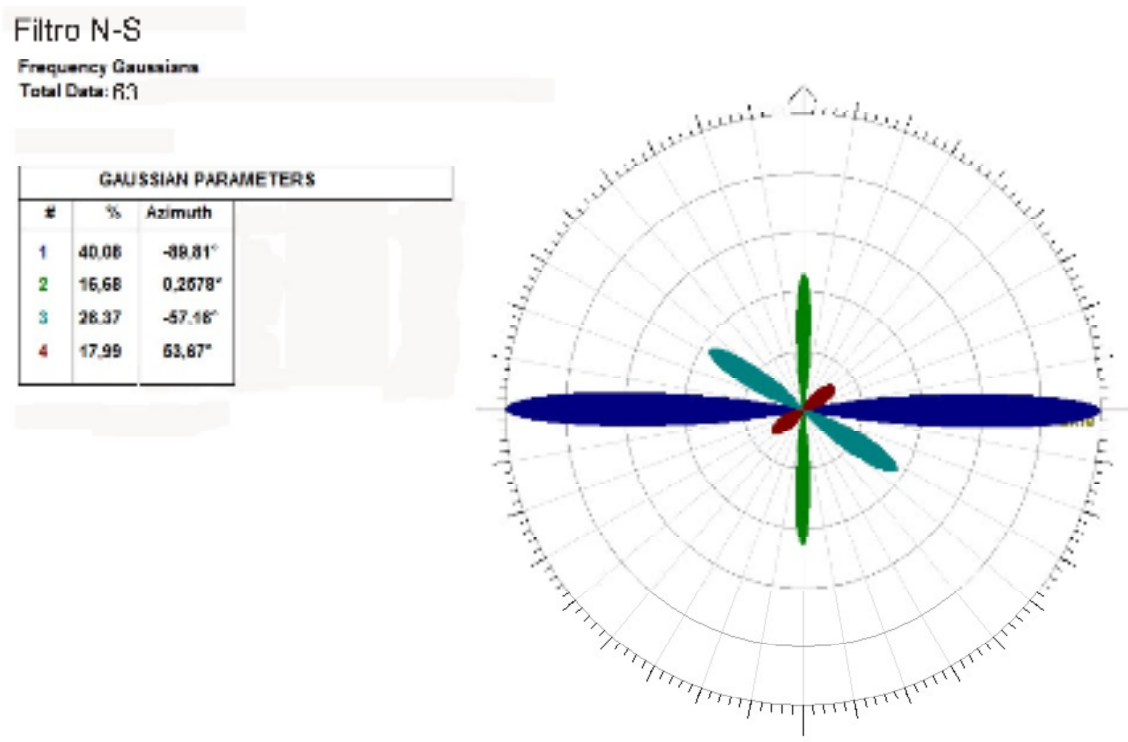


Figura 3.10 – Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos do filtro de direção N-S.

Analisando somente os lineamentos extraídos nas imagens SRTM, verificamos que a maioria dos lineamentos concentra-se na direção NE-SW, abrangendo cerca de

43% do total de lineamentos. Esta direção possui lineamentos regulares concentrados principalmente na região do Rio Mossoró. A direção NW-SE apresenta 32% dos lineamentos e possui lineamentos também regulares. Os sets N-S (18%) e E-W (7%), encontram-se normalmente interceptados por outros lineamentos e estão bem distribuídos ao longo da área (Fig. 3.11). Analisando esses lineamentos com relação ao seu tamanho, podemos afirmar que os mais extensos lineamentos estão na direção NE-SW (40%), seguidos da direção NW-SE (19%), logo após E-W (15%) e por fim N-S (13%) (Fig. 3.12). A única diferença dos lineamentos SRTM seria a maior quantidade dos lineamentos NE-SW em relação ao *trend* NW-SE em menor quantidade (Fig. 3.13).

Os lineamentos extraídos no Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas correspondem a drenagens e cristas alinhadas. Os lineamentos NW-SE representam canais de drenagem secundários correspondente ao Rio Mossoró e grandes “lajedos” da área em estudo. Os lineamentos NE-SW são evidenciados pelo curso principal do Rio Mossoró e podem controlar depósitos de coberturas sedimentares quaternárias (Depósitos Aluvionares Antigos e Depósitos de Canal), além de cristas alinhadas localizadas no extremo sul da área região de contato entre as formações Açú e Jandaíra, representando também os maiores lineamentos extraído. Os lineamentos N-S também representam um controle da deposição dos depósitos quaternários (depósitos aluvionares de planície de inundação e de canal) do Rio Mossoró. Finalmente, os lineamentos E-W são marcados principalmente por canais de drenagem secundários do rio Apodi-Mossoró e em pequenas cristas alinhadas (Fig. 3.14).

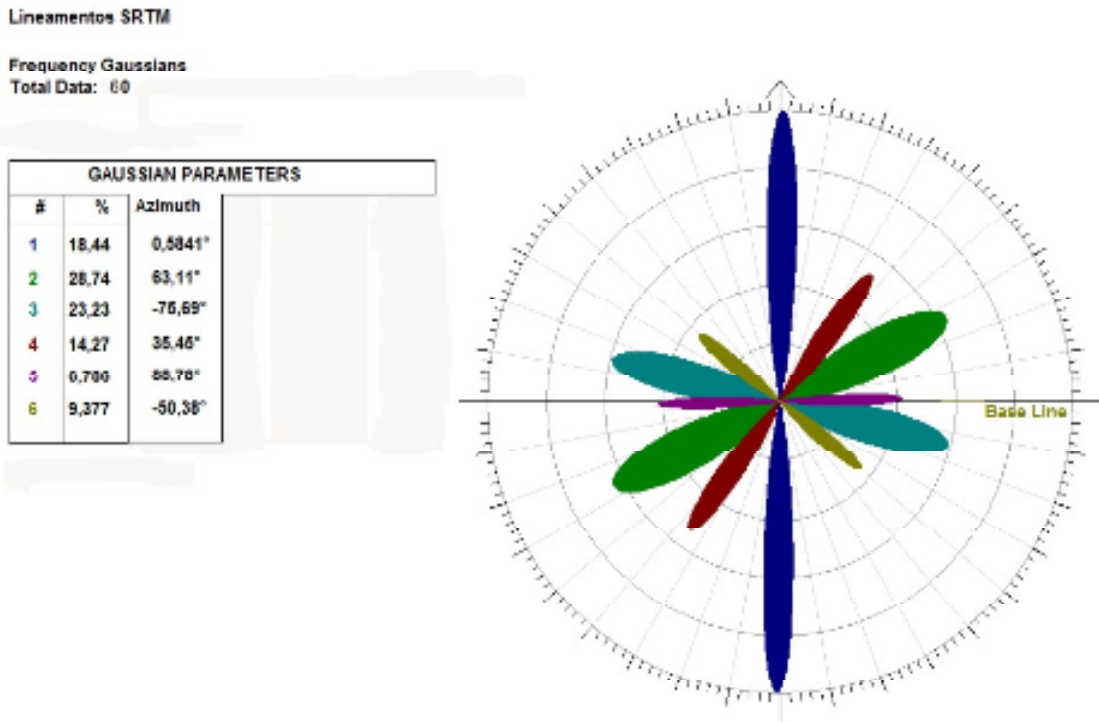


Figura 3.11 – Diagrama de rosetas normalizado pela quantidade de lineamentos extraídos na imagem SRTM.

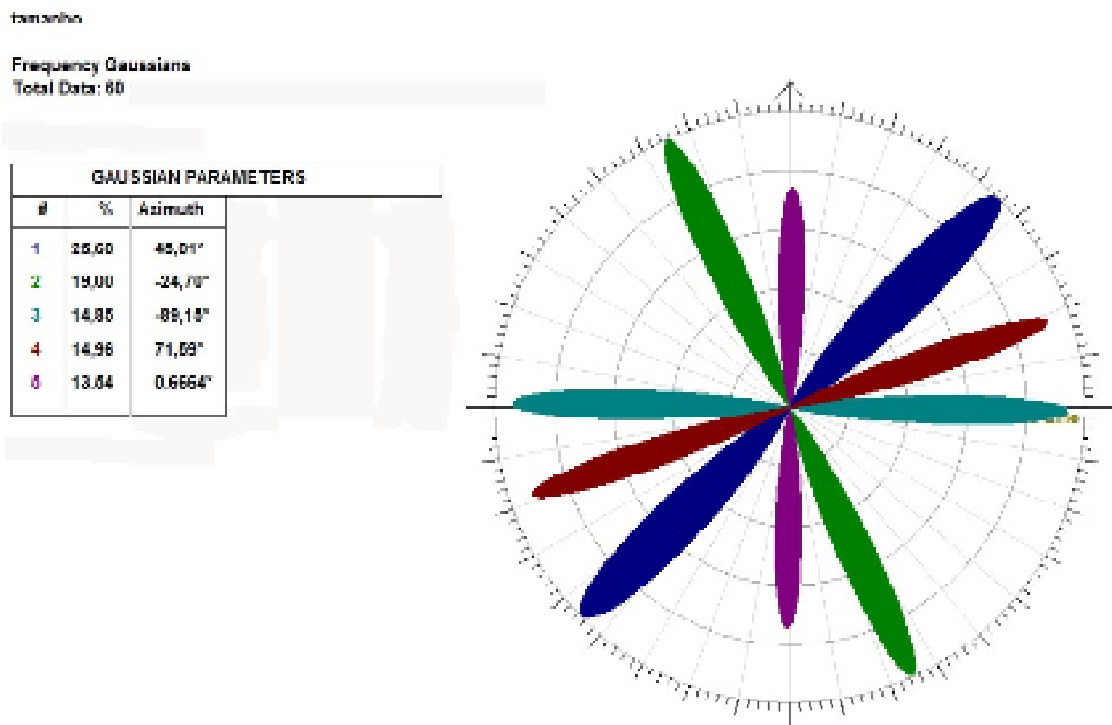


Figura 3.12 – Diagrama de rosetas normalizados pelo tamanho. Cada comprimento de lineamento varia de 100 m a 3.000 m. Extraído em imagens SRTM.

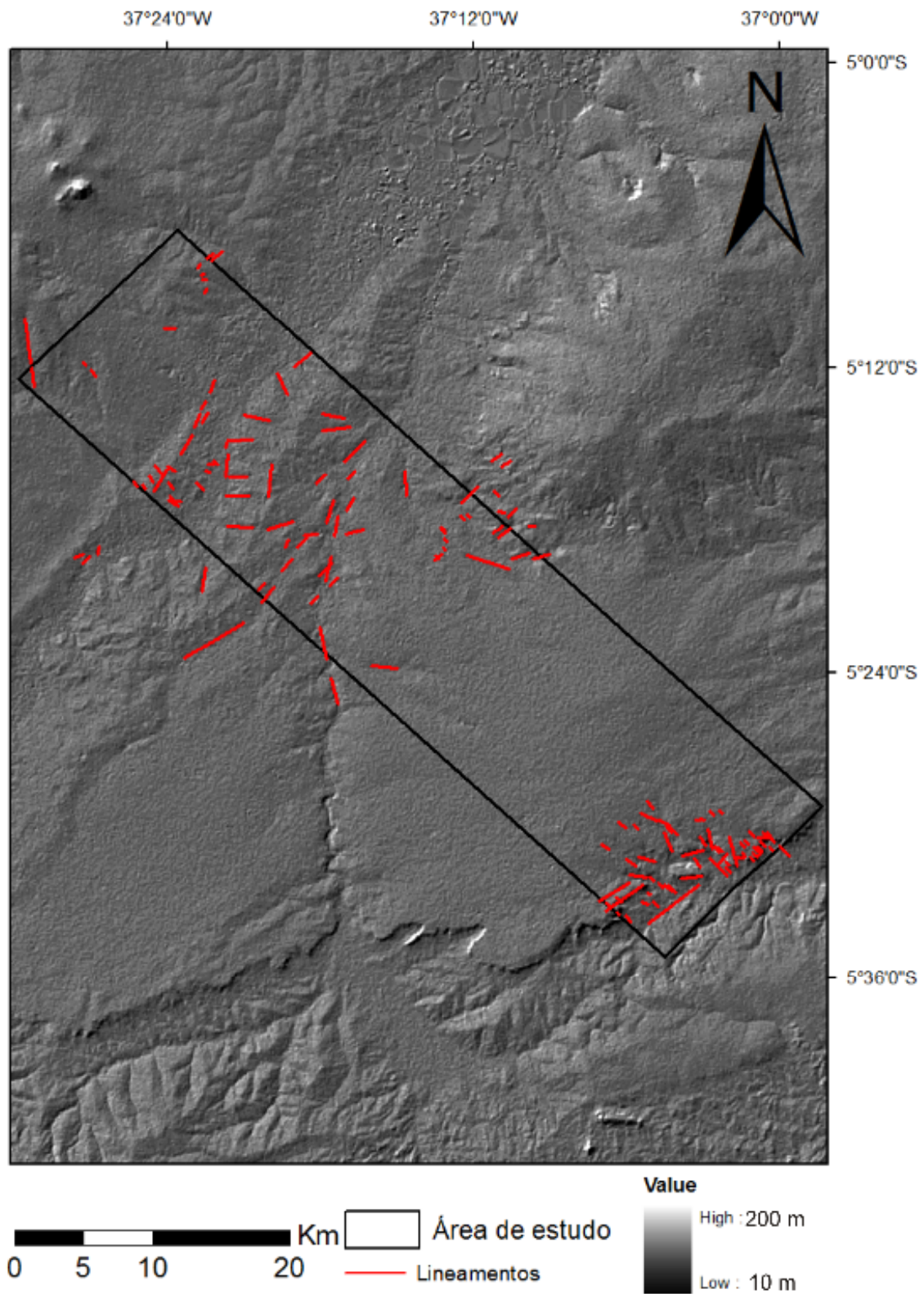


Figura 3.13 – Imagem de radar (SRTM) e seus lineamentos.

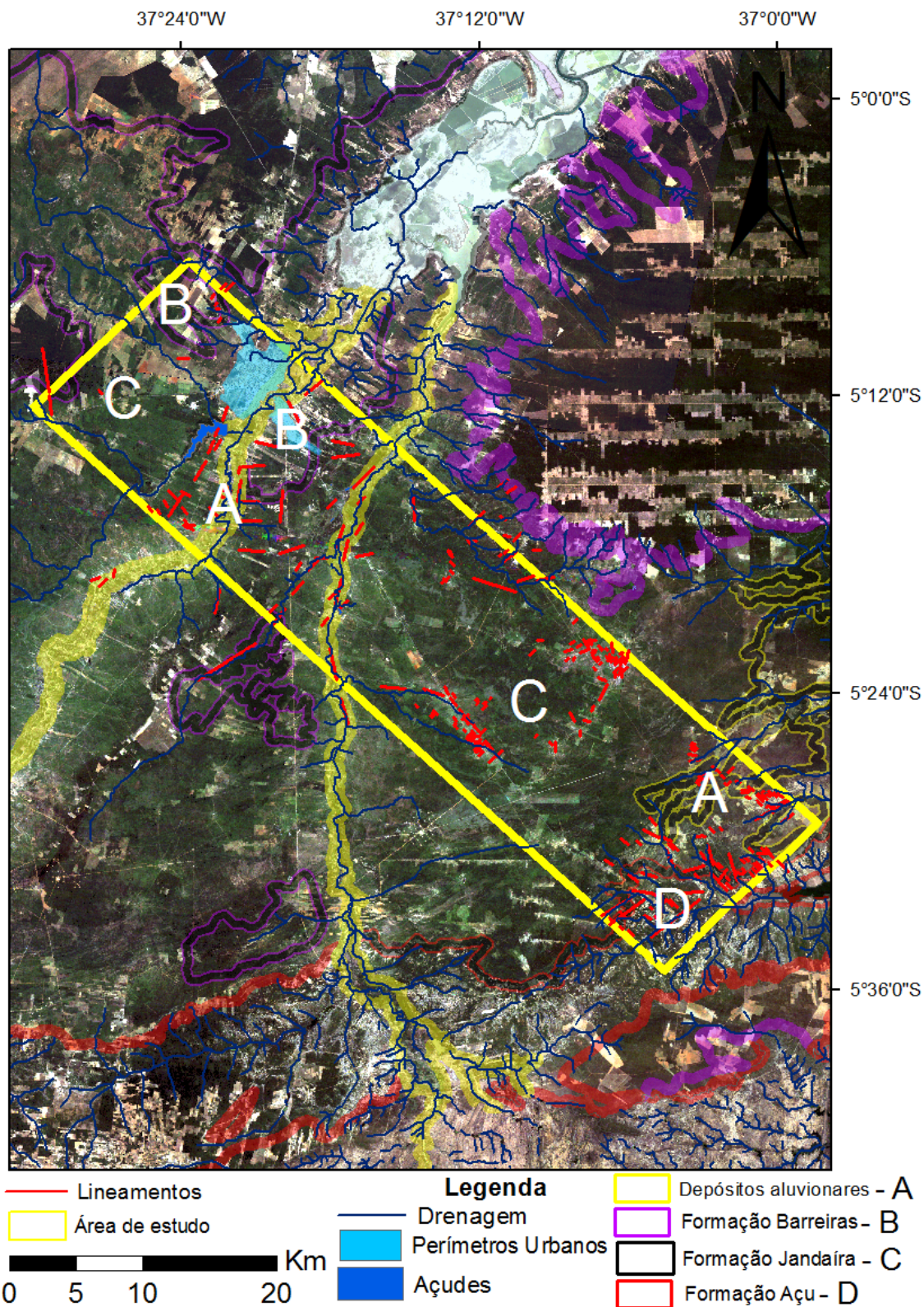


Figura 3.14 – Composição colorida no sistema de cores RGB 321, realizadas na Imagem de satélite Landsat 7-ETM+, tratada no *software ER Mapper 6.4*, para reconhecimento de lineamentos.

3.4 – Conclusões

De acordo com os diagramas de rosetas observados nos tópicos anteriores, concluí-se que os lineamentos concentram-se em quatro *sets*: NW-SE, NE-SW, N-S e subordinadamente E-W. O *set* NW-SE destaca-se, pois aparece em frequência mais alta em relação aos demais *sets*. Entretanto, o *set* NE-SW é mais ressaltado, quando os lineamentos são normalizados em relação ao tamanho. O *set* N-S é mais disperso e possui baixa frequência. Entretanto, esse *set* pode estar relacionado a ruídos existentes no processo de filtragem. Por fim, o *set* E-W é o menos comum e pode também representar ruídos dos processos de filtragem. Porém, analisando somente as imagens de radar (SRTM) o *set* que mais se destaca é o *set* NE-SW, diferentemente do contexto geral da região em estudo.

Esses ruídos foram submetidos a diversos tratamentos com o intuito de retirar ao máximo essa interferência, podendo assim distinguir ruído, de lineamento estrutural verdadeiro.

Por vezes, esses lineamentos encontram-se truncados uns pelos outros. Dessa maneira, é possível sugerir uma idade relativa para eles, associada principalmente as observações em campo. Em relação às juntas o mais antigo interrompe a continuação da junta mais recente. Assim, o *set* NW-SE é mais regular e normalmente ele interrompe a projeção do *set* NE-SW. Os *sets* N-S e E-W são mais dispersos e quando encontrado estão interrompidos ora pelo *set* NW-SE, ora pelo *set* NE-SW.

Dessa maneira os lineamentos orientados na direção NW-SE são os mais antigos seguidos pelos lineamentos NE-SW, de idade intermediária, N-S e E-W, sendo os lineamentos mais recentes.

Apresentada as características desses lineamentos podemos afirmar que os lineamentos de *trend* principal NW-SE podem representar falhas ou juntas, devido a sua regularidade e comprimento. Isso se aplica também ao *set* NE-SW que podem representar falhas ou juntas. Já os *sets* N-S e E-W, por apresentarem menor regularidade e pequenos comprimentos, podem representar apenas juntas e ou fraturas existentes na área de estudo.

O *set* de lineamentos NW-SE representa a expressão do Sistema de Falha Poço Verde-Caraúbas em superfície. Ele encontra-se bem definido na área de trabalho, mas não é o único a ser observado. Os lineamentos de direção NE-SW também estão presentes e podem representar falhas e juntas da fase rifte.

Capítulo 4 - Análise Geométrica e Cinemática das Estruturas Tectônicas

4.1 - Introdução

Neste capítulo, serão descritas as feições deformacionais encontradas nos calcários da Formação Jandaíra, destacando as juntas e falhas, e as análises geométricas e cinemáticas das estruturas encontradas, além da identificação de campos de tensão nessa região da Bacia Potiguar.

A identificação e o entendimento do significado das feições tectônicas de maior porte são normalmente difíceis, sobretudo em áreas cuja intensidade da estruturação é baixa. Assim, foi analisado o seu fraturamento em meso-escala (escala de afloramento). Para isso, foram coletados dados de atitude, espaçamento, morfologia das fraturas e ou falhas, dimensões, tipo de preenchimento, sistemática de ocorrência, e frequência em vários pontos da área de trabalho (Fig. 4.1). Para a análise geométrica e cinemática destas estruturas foi utilizado o *software Daisy 3_472*. Ao todo foram coletados 219 dados de estruturas tectônicas (falhas e juntas).

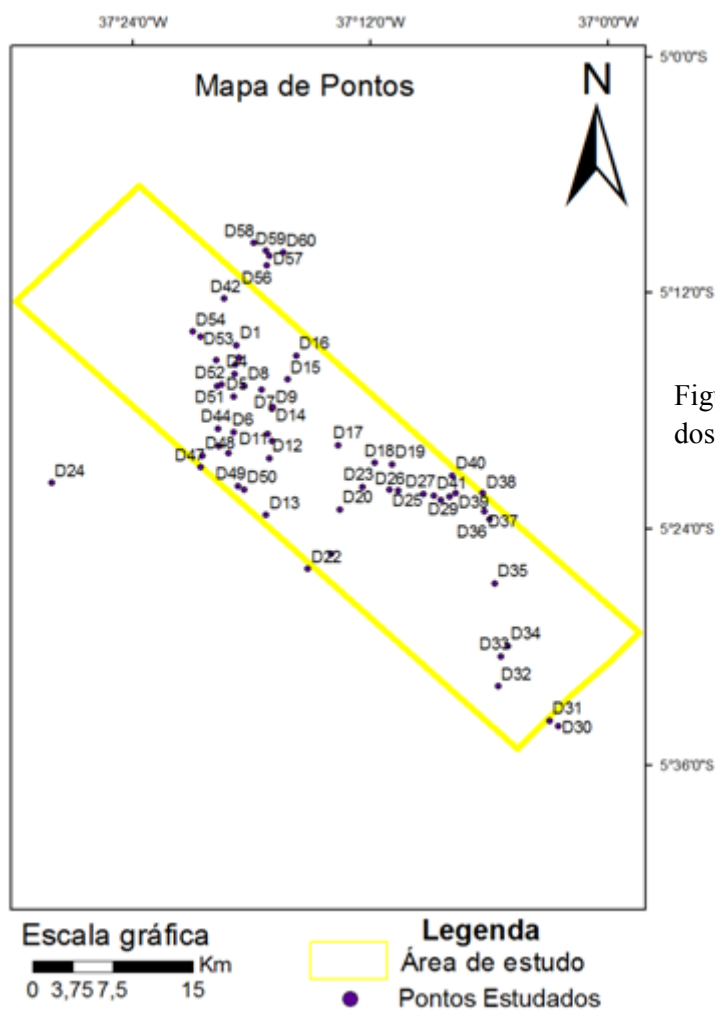


Figura 4.1 – Mapa de localização dos pontos estudados.

4.2 - Juntas

As juntas representam a estrutura tectônica mais penetrativa na área de estudo. As juntas de distensão predominam sobre as juntas conjugadas e ocorrem principalmente nos calcários da Formação Jandaíra.

As juntas apresentam-se preenchidas ou não (juntas secas). O preenchimento é composto por tufas calcárias (Fig. 4.2) ou calcita (Fig. 4.3). As tufas calcárias preenchem um único *set* de direção NW-SE. As juntas preenchidas por calcita apresentam-se em um *set* principal, o *set* NW-SE. Ambos os preenchimentos ocorrem em condições superficiais de temperatura ambiente. As juntas secas (sem preenchimento) ocorrem em todos os *sets* mapeados, destacando também o *set* principal NW-SE.

Do ponto de vista tectônico, as tufas calcárias, encontradas em alguns lajedos da Formação Jandaíra que apresentam estruturas frágeis, podem ser relacionadas a movimentos que ocorreram durante e após sua deposição e são controlados por falhas pós-campanianas existentes na área. Estas tufas foram descritas como quaternárias por Pérez (2003).



Figura 4.2 – Junta de distensão com direção principal NW-SE preenchida por tufa calcária. Ponto D13 (coordenadas x – 0689431; y – 9409692).

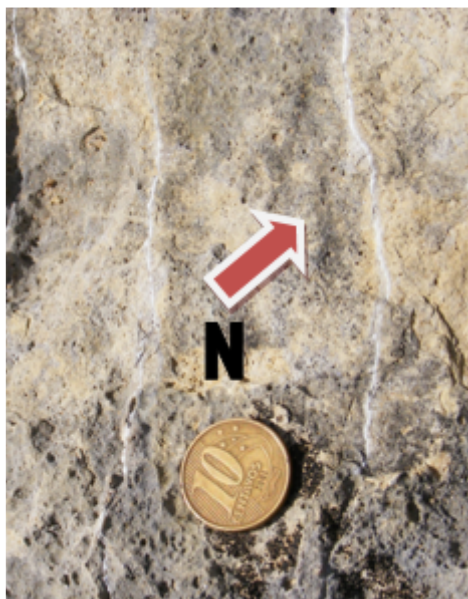


Figura 4.3 – Junta de distensão com direção principal NW-SE preenchida por calcita. Ponto D37 (coordenadas x – 696909; y – 9410917).

As juntas de distensão mapeadas apresentam quatro direções, segundo o diagrama de rosetas: (1) NW-SE (33%) (290°Az a 340°Az), (2) NE - SW (25%) (015°Az a 070°Az), (3) E-W (22%) (085°Az a 095°Az) e (4) N-S (20%) (356°Az a 010°Az) (Fig. 4.4).

O diagrama de igual área dos pólos das juntas também indica a existência desses quatro *sets* de juntas: (1) NW-SE com plano médio 330°Az/87°SW, (2) NE-SW com plano médio 215°Az/85°, (3) E-W com plano médio 272°AZ/87°N, e (4) N-S com plano médio 002°Az/88°E. Os mergulhos de todos estes sets variam de 70° a 90° (Fig. 4.5).

As juntas possuem uma geometria retilínea a curvilínea. Seus comprimentos variam de alguns centímetros até 10 m. O espaçamento varia de 3 cm a 2 m em média. O preenchimento pela calcita varia de 1 a 4 mm de espessura, enquanto o preenchimento por tufas calcárias chega até 10 cm de espessura.

Há dois critérios de avaliação da idade relativa dessas juntas. O primeiro seria o truncamento de *sets*. Segundo este critério, o *set* mais novo é interrompido pelo *set* já existente e, conseqüentemente, mais contínuo (Fig. 4.6). O segundo critério seria em relação ao preenchimento. As juntas preenchidas (calcita ou tufa calcária) são mais antigas do que as juntas secas (não preenchidas). Por se tratarem de juntas de distensão as juntas preenchidas são mais antigas, pois houve tempo para deposição de algum material sedimentar ou não.

De acordo com tais critérios, as juntas com direção principal NW-SE são as mais antigas existentes na área do Sistema de Falhas Poço Verde – Caraúbas. As juntas NW-SE, que são as mais contínuas em afloramento interrompem juntas NE-SW (Fig. 4.6). Assim, como visualizado em campo, podemos definir uma ordem relativa de idade do mais antigo para o mais recente *set* de juntas: NW-SE, NE-SW, N-S e E-W.

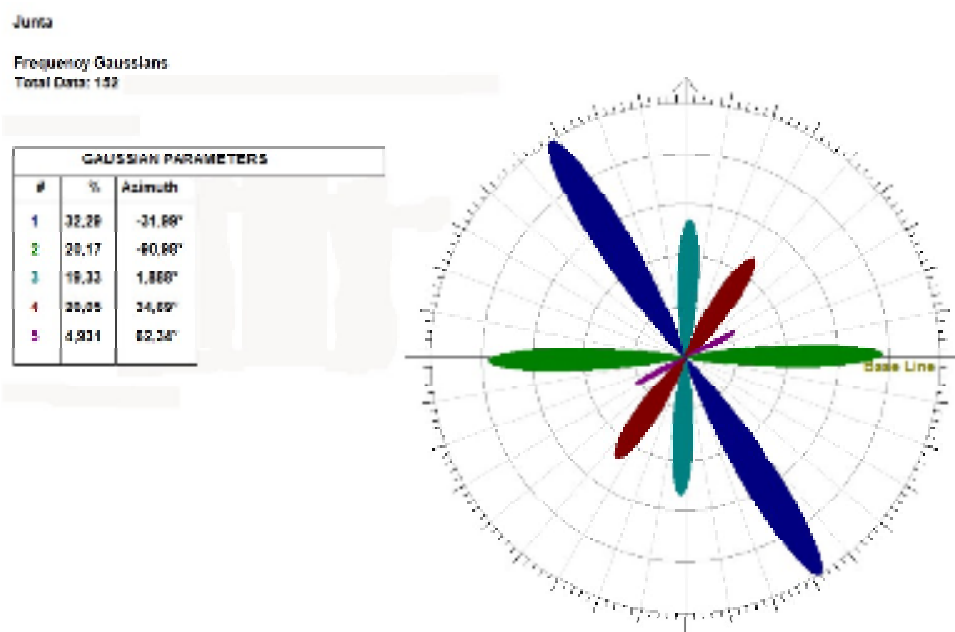


Figura 4.4 – Diagrama de roseta mostrando os principais *sets* de todas as populações de juntas.

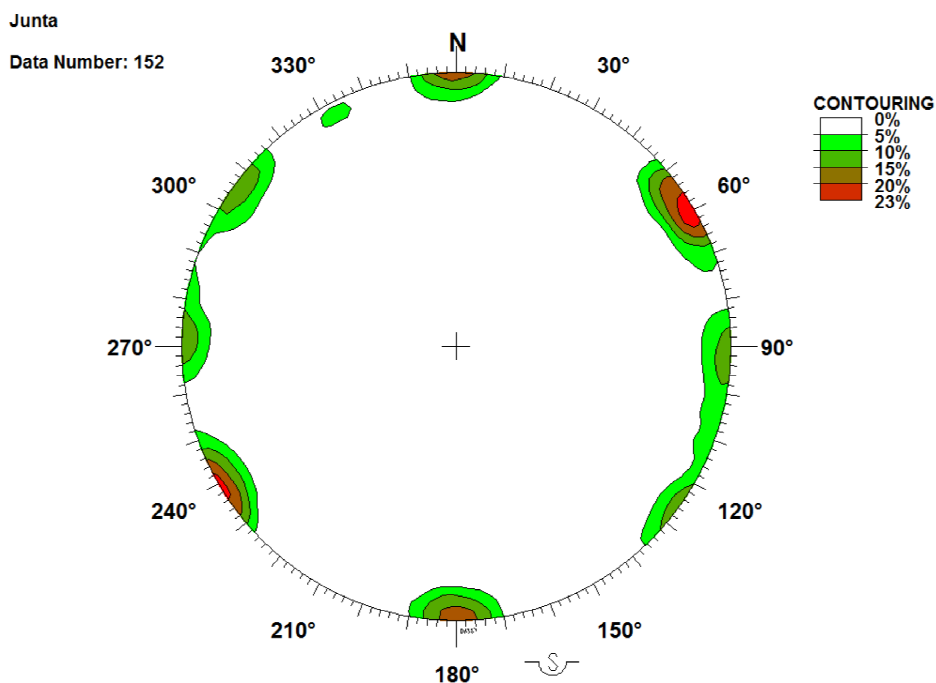


Figura 4.5 - Diagrama de igual área de todas as populações de juntas.

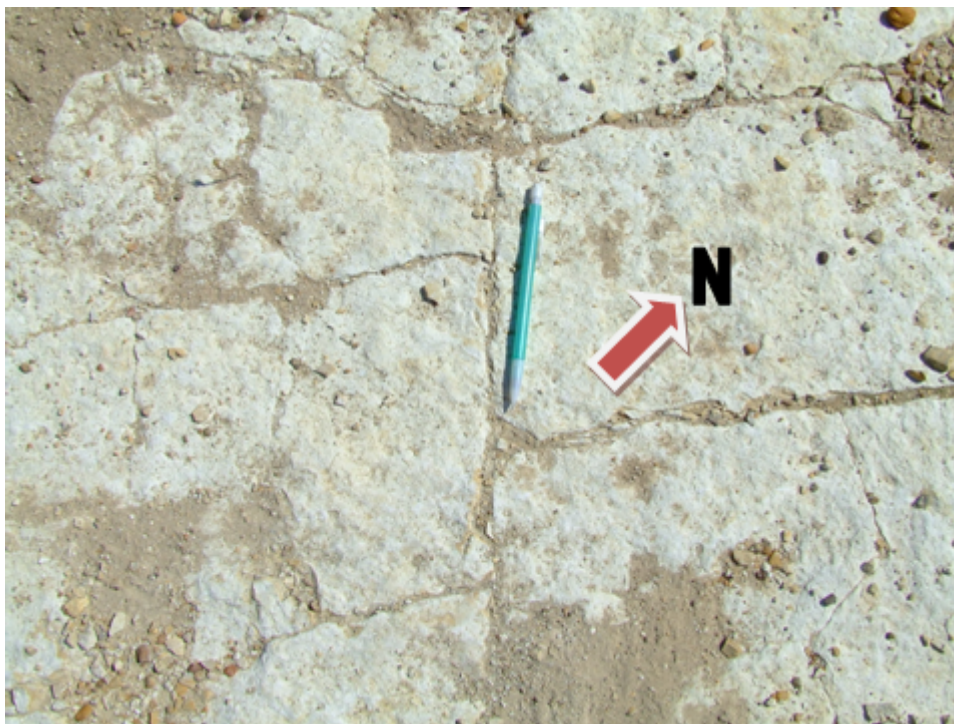


Figura 4.6 – Junta de distensão com direção principal NW-SE, mais contínua, interrompe juntas NE-SW mais recentes. Ponto D13 (coordenadas x – 0689431; y – 9404369).

4.3 - Falhas

Neste tópico serão descritas falhas mapeadas na área de estudo. Com os dados coletados foi possível a elaboração de diagramas de contorno e projeções ciclográficas com o intuito de melhorar a interpretação de todas as falhas.

4.3.1 - Falhas Normais

As falhas normais são pouco comuns na região de estudo (Fig. 4.7) e foram analisadas em regiões de pedreira onde a exposição dos calcários da Formação Jandaíra é maior. Ao todo, foram coletados 16 dados dessas falhas. Essas falhas possuem extensão de 5 - 20 m, direção variando de 330°Az a 355°Az , mergulho variando entre 048° a 060° , com plano médio $350^{\circ}\text{Az}/54^{\circ}\text{SW}$ (Fig. 4.8), e rejeito geralmente de alguns centímetros. As estrias são marcadas por cristais finos e alongados de calcita com até 2 cm de comprimento e com mergulho que varia de 45° a 52° .

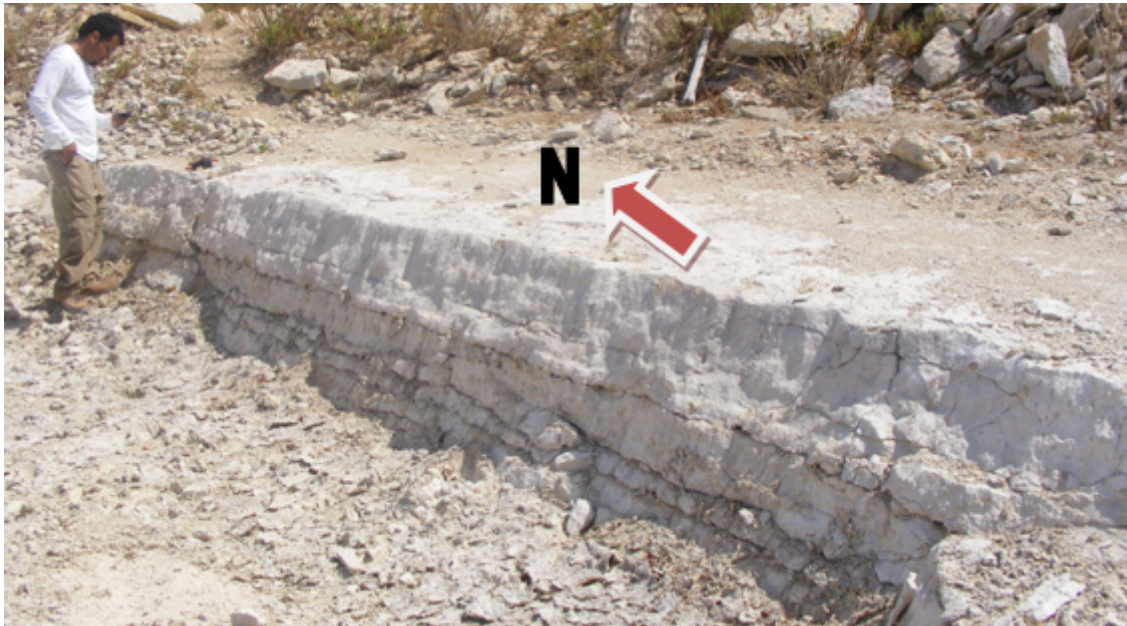


Figura 4.7 – Plano de falha normal de direção ~ N-S (Ponto D11: coordenadas x- 689612; y- 9411906).

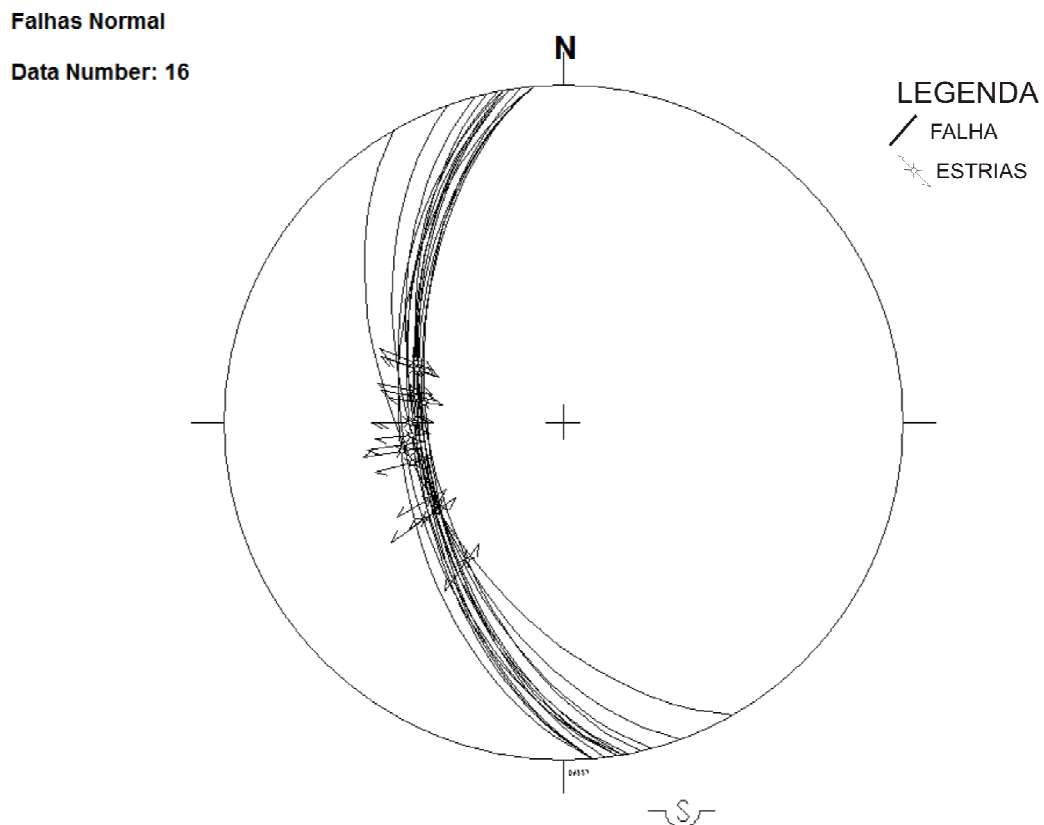


Figura 4.8 – Projeção ciclográfica das falhas normais (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

4.3.2 - Falhas Transcorrentes

As falhas transcorrentes são mais penetrativas nessa região. Elas encontram-se principalmente em extensos “lajedos”. Foram coletados 52 dados de falhas transcorrente. As falhas apresentam-se em duas direções principais: NW-SE (dextral e sinistral) são as mais comuns na região, e NE-SW (dextral e sinistral). De modo geral, essas falhas são subverticais e seus mergulhos variam de 83° a 90° .

As falhas dextrais de direção NW-SE são as mais penetrativas na área. Elas apresentam planos que variam de 319°Az a 345°Az e mergulhos que variam entre 83° a 90° , tanto para NE como para SW. Elas apresentam ainda fraturas sintéticas (R) com planos entre 002°Az e 030°Az e mergulhos que variam entre 83° e 90° tanto para NE, como para SW (Fig. 4.9). A concentração máxima dos pólos indica um plano médio de $338^\circ\text{Az}/85^\circ\text{NE}$ (Fig. 4.9).

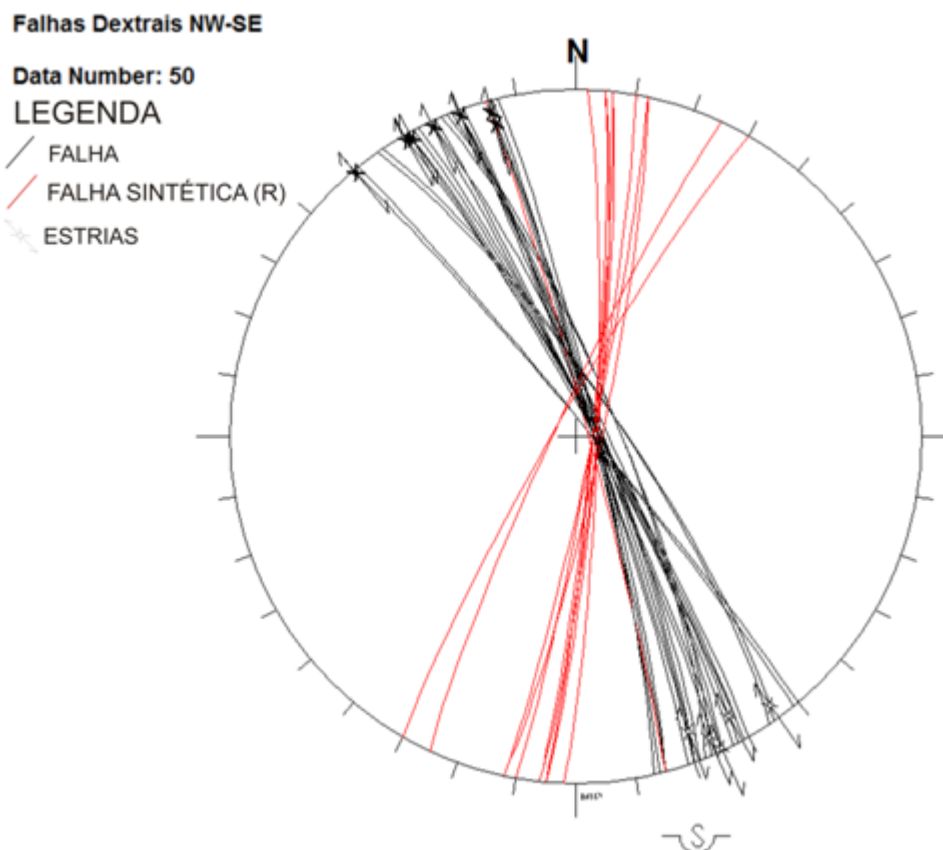


Figura 4.9 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes NW-SE com cinemática dextral e fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

As falhas dexas NE-SW mostram planos que variam entre 200°Az e 225°Az , mergulhos entre 84° e 90° para NW. As fraturas sintéticas (R) relacionadas a estas falhas têm planos entre 220°Az e 250°Az e mergulhos variando entre 84° e 90° (Fig. 4.10). A concentração máxima dos pólos das falhas tem plano médio $210^{\circ}\text{Az}/84^{\circ}\text{NW}$ (Fig. 4.10).

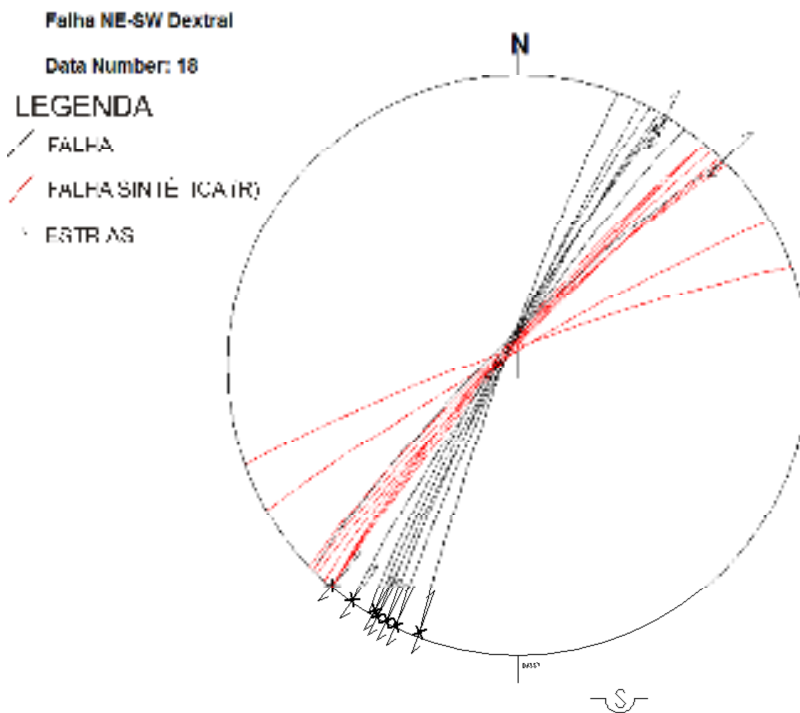


Figura 4.10 – Projeção ciclográfica das falhas direcionais NE-SW com cinemática dextral e sua fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

Por outro lado, as falhas sinistras de direção NW-SE diversificam seus planos entre 335°Az a 358°Az e apresentam mergulho entre 87° e 90° para NE. As fraturas sintéticas (R) apresentam planos entre 305°Az e 333°Az e mergulhos variando entre 87° e 90° (Fig. 4.11). A concentração máxima dos pólos das falhas tem plano médio $348^{\circ}\text{Az}/85^{\circ}\text{NE}$ (Fig. 4.11).

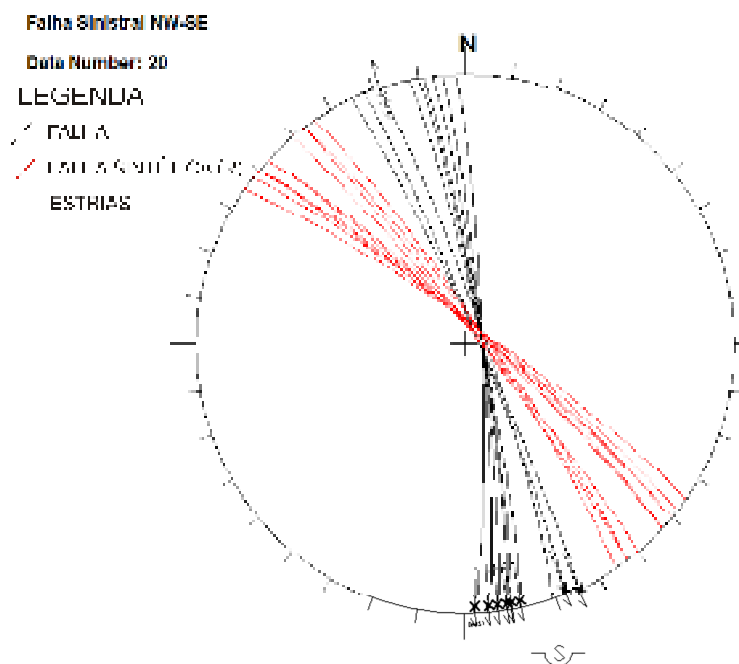


Figura 4.11 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral de *trend* principal NW-SE e suas fraturas sintéticas (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

Por fim, as falhas sinistrais NE-SW têm planos entre 030°Az a 043°Az e mergulhos para SE com valores entre 83° e 87° . As fratura sintéticas (R) são planos entre 005°Az e 018°Az e apresentam mergulhos que variam entre 83° e 87° . A concentração máxima dos pólos é representada por um plano médio $036^{\circ}\text{Az}/85^{\circ}\text{SE}$ (Fig. 4.12).

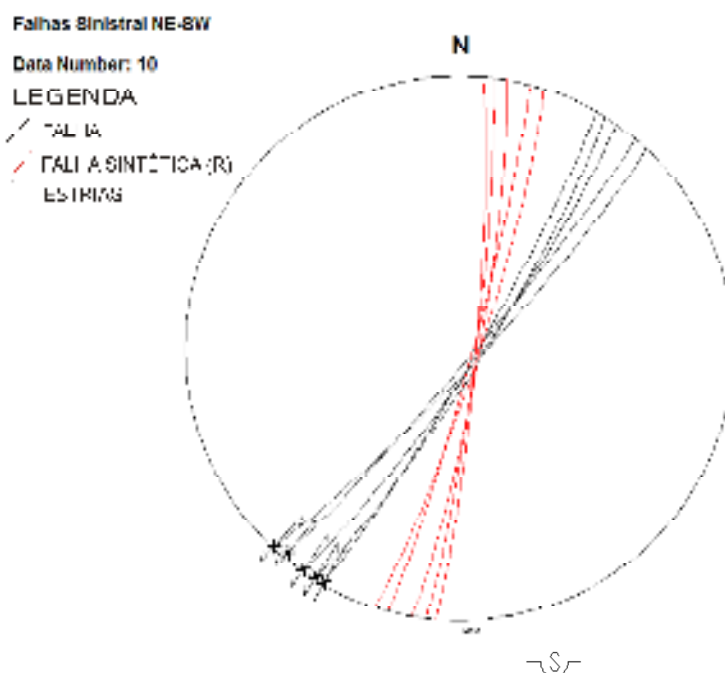


Figura 4.12 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes sinistral de *trend* principal NE-SW e sua fratura sintética (R) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

4.4 - Determinação das Paleotensões

Este tópico tem como objetivo traçar campos de tensão encontrados na área de estudo, de acordo com os dados coletados em campo. Para isso, foi utilizado o *software Daisy 3_472*. Para cada tipo cinemático, foi confeccionado um diagrama, ou seja, um diagrama para falhas normais, dois para falhas transcorrentes dextrais e dois para falhas transcorrentes sinistrais. Estes diagramas foram depois agrupados em *sets* de mesma cinemática.

4.4.1 - Introdução

O critério utilizado para determinar a cinemática das falhas dextrais e sinistrais encontradas foi o sistema de fraturas de Riedel. Riedel (1929), em um experimento com uma camada de argila sobre placas rígidas, descobriu que, ao movimentá-las, formava-se na argila um sistema conjugado de fraturas de cisalhamento arranjadas num padrão *en echelon*. Assim, uma falha principal ou uma zona de falha poderá desenvolver um conjunto de fraturas secundárias que possuem ângulos bem definidos em relação à estrutura principal. As relações geométricas entre esses conjuntos de fraturas, além da cinemática de cada um deles, podem ser definidas como indicadores cinemáticos para a deformação principal.

Um sistema Riedel ideal é constituído por fraturas de cisalhamento conjugadas. As fraturas sintéticas em relação à falha principal (fratura R) apresentam o mesmo sentido de movimento da falha principal e faz com esta um ângulo baixo ($10^\circ - 15^\circ$ ou $45^\circ - \theta/2$). As fraturas antitéticas à falha principal (fratura R') mostram movimento oposto à deformação principal, fazendo um ângulo alto ($75^\circ - 80^\circ$ ou $45^\circ + \theta/2$) com a falha/zona de cisalhamento principal (Fig. 4.13). Há também as fraturas sintéticas, subparalelas a falha principal denominadas de fratura Y (Bartlett *et al.*, 1981) ou D (Tchalenko, 1968 *apud* Sylvester, 1988) (Fig. 4.14).

Há ainda as fraturas sintéticas P que possuem um ângulo de $[-45^\circ + \theta/2]$ e as fraturas X, antitéticas bastante raras que inclinam-se $[-45^\circ + \theta/2]$. Finalmente, as fraturas T, são dominadas juntas de distensão, fazem um ângulo de 45° com a falha principal (Bartlett *et al.*, 1981) (Fig. 4.13).

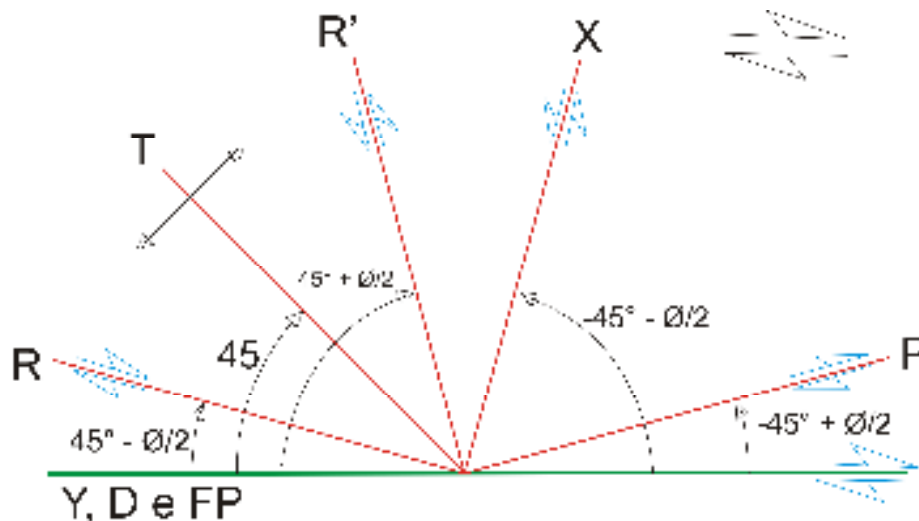


Figura 4.13 – Sistema de cisalhamento de Riedel e seus elementos comuns (Modificado de Bartlett *et al.*, 1981 e Woodcock & Schubert 1994). A presença das juntas de cisalhamento R só é obrigatória quando o sistema de cisalhamento for considerado como de Riedel. R' está quase sempre presente.

Contudo, mesmo com diferentes tipos de fratura de Riedel não podem ainda fazer uma relação exata da idade relativa dessas fraturas. Os modelos mais aceitos relatam que as fraturas de baixo ângulo, em relação à falha principal (fratura R e P), são mais recentes que as fraturas de alto ângulo (fratura R') (Sylvester, 1988). Por outro lado alguns autores consideram que as fraturas R e P sejam sincrônicas (Bartlett *et al.*, 1981), enquanto outros consideram que as fraturas R foram as primeiras a se formarem (Morgenstern & Tchalenko, 1967 *apud* Sylvester, 1988; Tchalenko, 1968 *apud* Sylvester, 1988; Bartlett *et al.*, 1981). Por fim, as fraturas R' podem ser sincrônicas ou tardias em relação às fraturas R Tchalenko, 1968 *apud* Sylvester, 1988; Moore, 1979).

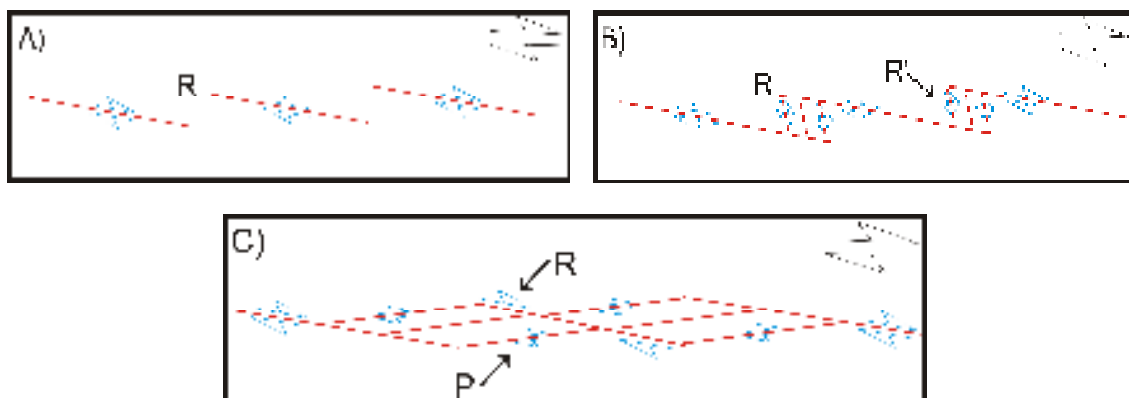


Figura 4.14 – Modelos de caracterização da cronologia relativa de formação das fraturas R, R' e P. Em geral admite-se que as fraturas R são as mais precoces (A). Porém há divergências de opiniões em relação ao aparecimento de modo que R' (B) e P (C) podem se formar após R. Modificado de Sylvester (1988).

O método gráfico utilizado pelo programa *Daisy 3_472* é o método do plano M (Arthuad, 1969). Para que esse método seja eficiente é preciso conhecer alguns aspectos: atitude das estrias e/ou fraturas sintéticas; considerar que as estrias sejam projeção dos σ_1 e σ_3 no plano de falha; construir plano auxiliares perpendiculares ao plano de falha; e que todas as falhas estudadas tenham uma relação mútua. O interessante do método de Arthurad (1969) em relação a outros métodos seria que o plano auxiliar contém a estria e neste método é possível avaliar uma atitude aproximada dos eixos de tensão.

O método do plano M (M refere-se ao movimento) faz com que, havendo qualquer deformação frágil, seja sempre possível individualizar os três eixos principais (σ_1 , σ_2 , σ_3), que são ortogonais entre si e paralelos aos seus eixos do elipsóide de deformação (Z/ σ_1 ; Y/ σ_2 ; X/ σ_3). Para que as orientações dos eixos de deformação sejam encontrados são necessárias somente as medidas de atitudes das falhas, estrias ou sintéticas e/ou antitéticas.

Para uma determinada falha, o eixo de tensão Y/ σ_2 equivale ao pólo do plano M, com a condição desse eixo estar no plano da falha e que seja perpendicular às estrias (Fig. 4.15). Os eixos de tensão Z/ σ_1 e X/ σ_3 estão no plano M a 30° do plano de falha, enquanto o eixo X/ σ_3 está a 120° (ou a -60°) do plano de falha.

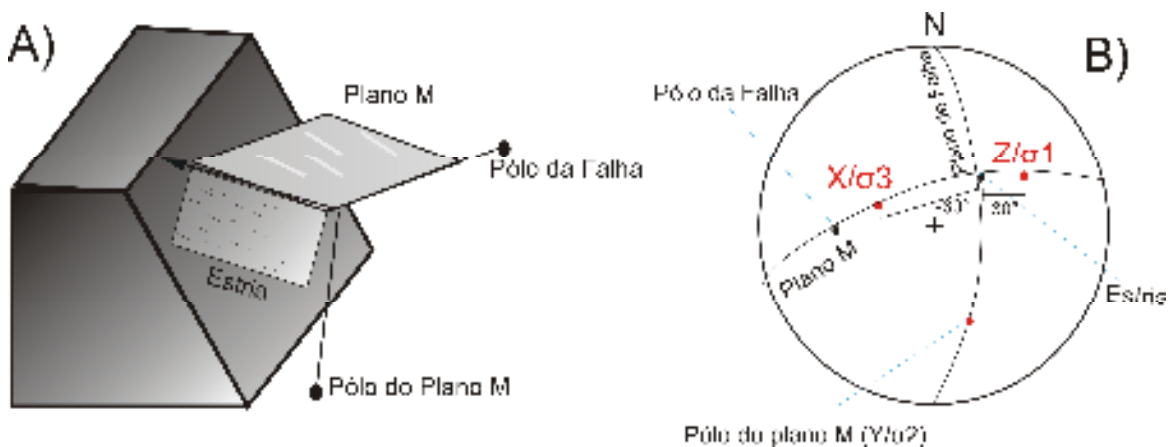


Figura 4.15 – Método do plano M (Arthuad, 1969), onde estima-se o campo de tensão. É preciso conhecer a atitude do plano de falha, a estria, sintética ou antitética e a cinemática da falha. (A) O plano M é perpendicular ao plano da falha. (B) Somente com uma única falha com os elementos necessários é possível calcular os eixos de tensão Z/ σ_1 , Y/ σ_2 e X/ σ_3 e com uma série de falhas é possível determinar o campo de tensão atuante.

Assim, com a utilização desses métodos, a visualização das projeções ciclográficas, observações em campo e do *software Daisy*, foi possível determinar os eixos de tensão σ_1 , σ_2 e σ_3 de cada conjunto de falhas.

4.4.2 - Interdependência Cinemática entre as Falhas

Através da visualização das projeções ciclográficas e observações em campo foi possível reunir os quatro grupos de falhas acima descritos em conjuntos de mesma compatibilidade cinemática. Assim, separou-se as falhas cinematicamente compatíveis em dois grupos “A” e “B”. O Grupo A compreende falhas normais com direção aproximada N-S, as falhas transcorrentes dextrais NW-SE e sinistrais NE-SW (Fig. 4.16). O Grupo B é composto pelas falhas sinistrais NW-SE e dextrais NE-SW (Fig. 4.17).

Grupo A:

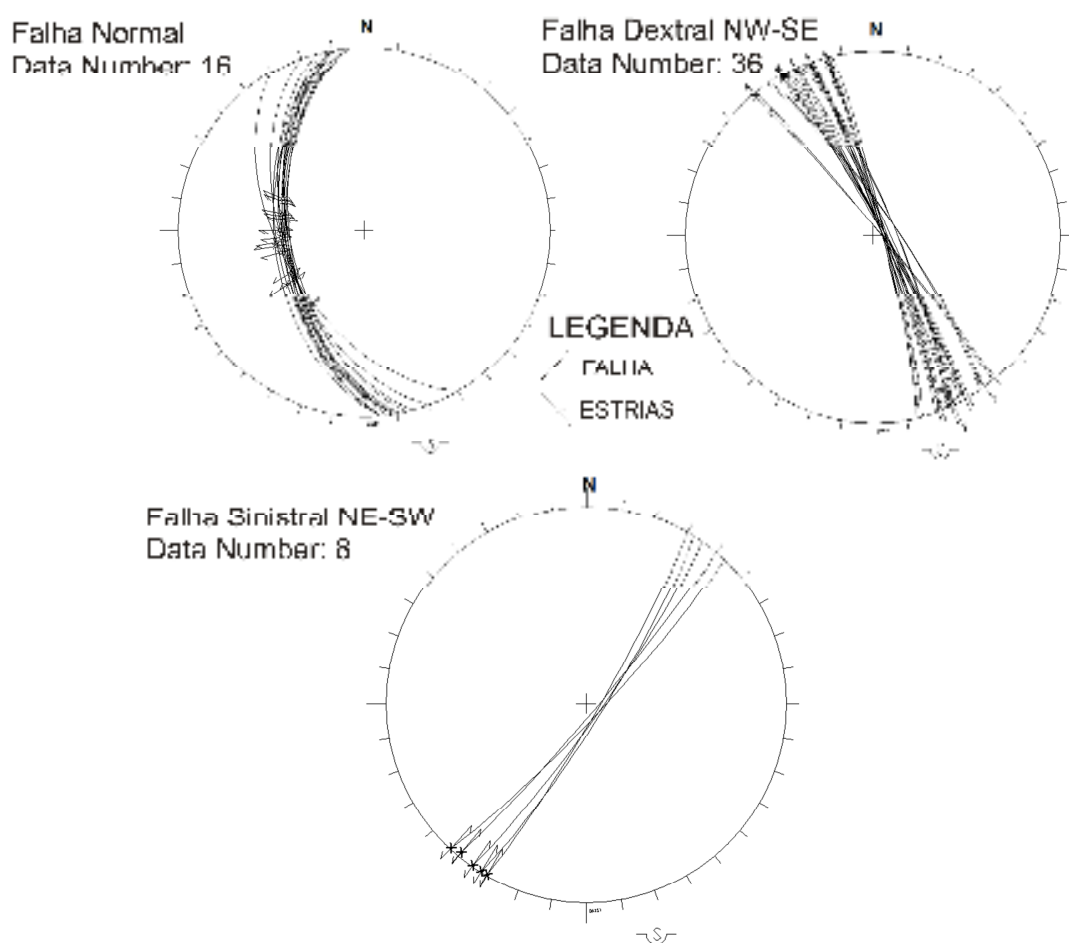


Figura 4.16 - Projeções ciclográficas dos planos de falhas normal, dextral NW-SE e sinistral NE-SW, com respectivas estrias plotadas indicando sentido de movimento (projeções no hemisfério inferior – diagrama de Schmidt-Lambert).

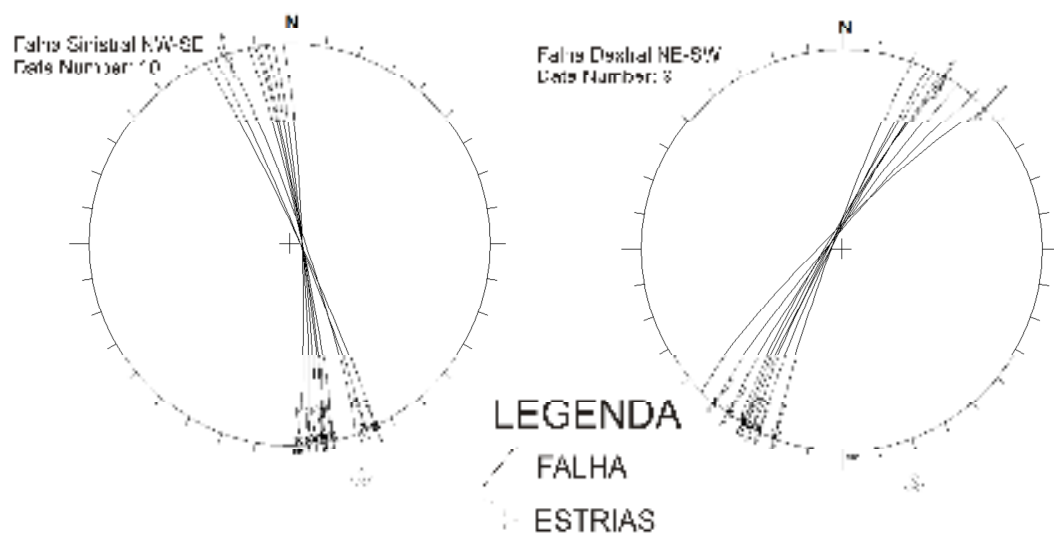
Grupo B:

Figura 4.17 - Projeções ciclográficas dos planos de falhas sinistral NW-SE e dextral NE-SW, com respectivas estrias plotadas indicando sentido de movimento (projeções no hemisfério inferior – diagrama de Schmidt-Lambert).

4.5 - Determinação das tensões no Sistema de Falhas Poço Verde - Caraúbas

Esta análise visa caracterizar os eixos de tensão responsáveis pela geração ou reativação das estruturas rasas na área estudada, e por fim traçar campos de tensão atuantes nessa região da Bacia Potiguar. Os campos associam-se a um triedro de esforços compressivos. Os tensores de máxima, intermediária e mínima compressão estão designados respectivamente como: σ_1 , σ_2 e σ_3 .

Baseado nos grupos de falhas acima e com os dados descritos a seguir, resolveu-se determinar as paleotensões para cada conjunto de falhas separadamente.

O primeiro conjunto seria as falhas normais pertencentes ao grupo “A”, onde foram observadas estrias, que nos permitiu a determinação do sentido do movimento e o cálculo dos tensores (Fig. 4.18). Esse grupo obteve as seguintes atitudes de tensores: σ_1 subvertical ($79^\circ/308^\circ\text{Az}$), σ_2 subhorizontal N-S ($10^\circ/177^\circ\text{Az}$), e σ_3 subhorizontal E-W ($07^\circ/085^\circ\text{Az}$) (Figs. 4.19 e 4.20).

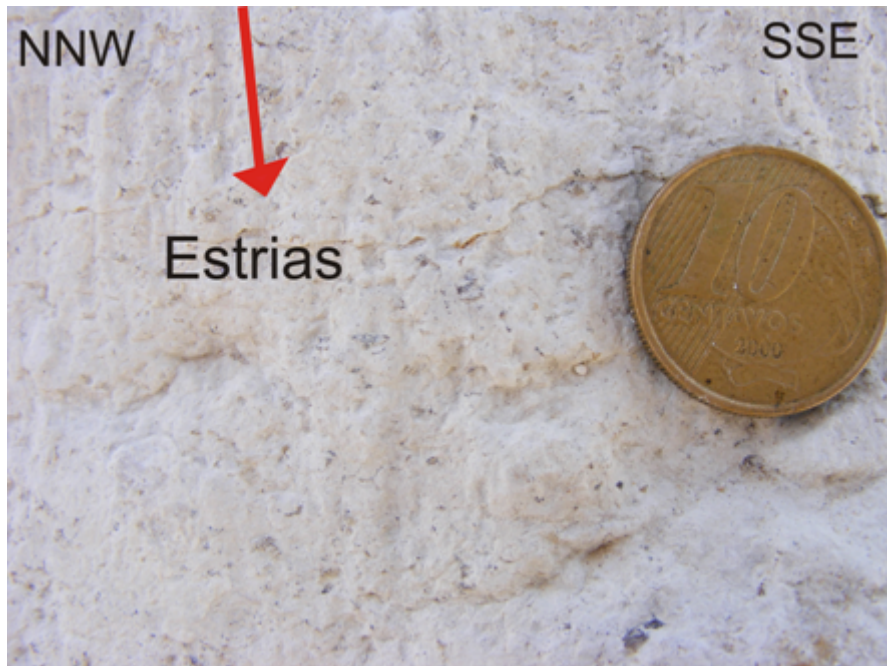


Figura 4.18 - Plano de falha normal com estrias de alto *rake*. Ponto D11 (coordenadas x-689612; y-9411906).

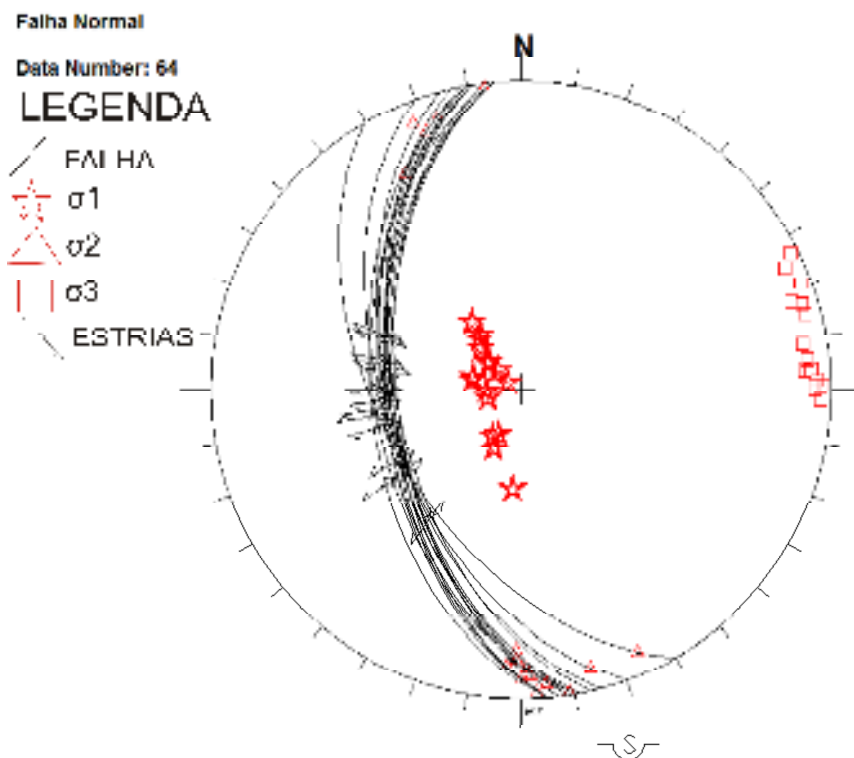


Figura 4.19 – Projeção ciclográfica das falhas normais e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthud, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

Falhas Normal
Data Number: 48

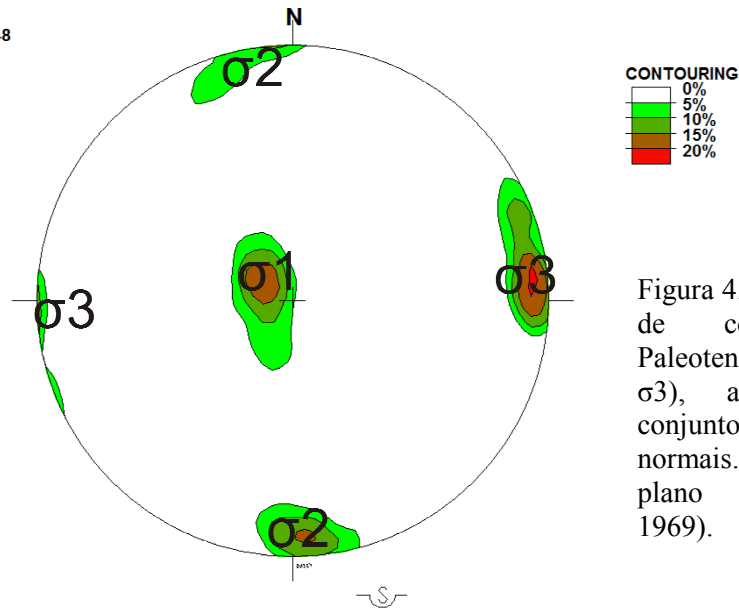


Figura 4.20 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas normais. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969).

O segundo conjunto composto pelas falhas direcionais dextrais NW-SE, mais comum na região em estudo, determinado pelo método de Riedel (Fig. 4.21), possui como atitudes de seus tensores: σ_1 subhorizontal N-S ($027^\circ/5^\circ\text{Az}$), σ_2 subvertical ($84^\circ/047^\circ\text{Az}$) e σ_3 subhorizontal E-W ($04^\circ/271^\circ\text{Az}$) (Figs. 4.22 e 4.23).

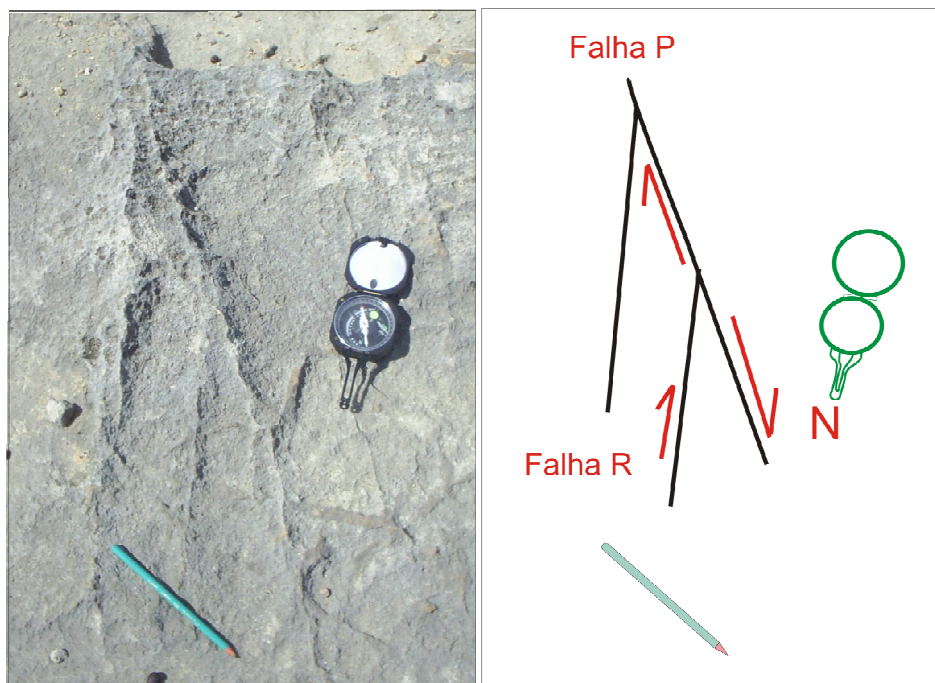


Figura 4.21 – Exemplo das juntas de cisalhamento de Riedel como critério para a definição das falhas transcorrentes dextrais NW-SE em rochas calcárias da Formação Jandaíra. Ponto D29 (coordenadas: x – 706580 / y – 9405932).

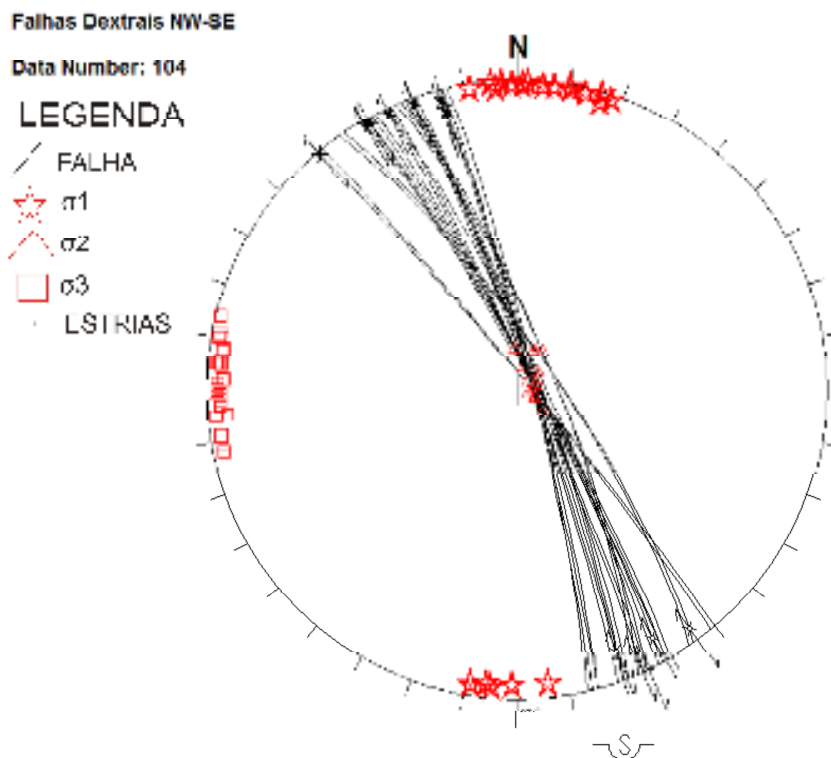


Figura 4.22 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrentes dextrais NW-SE e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthud, 1969) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

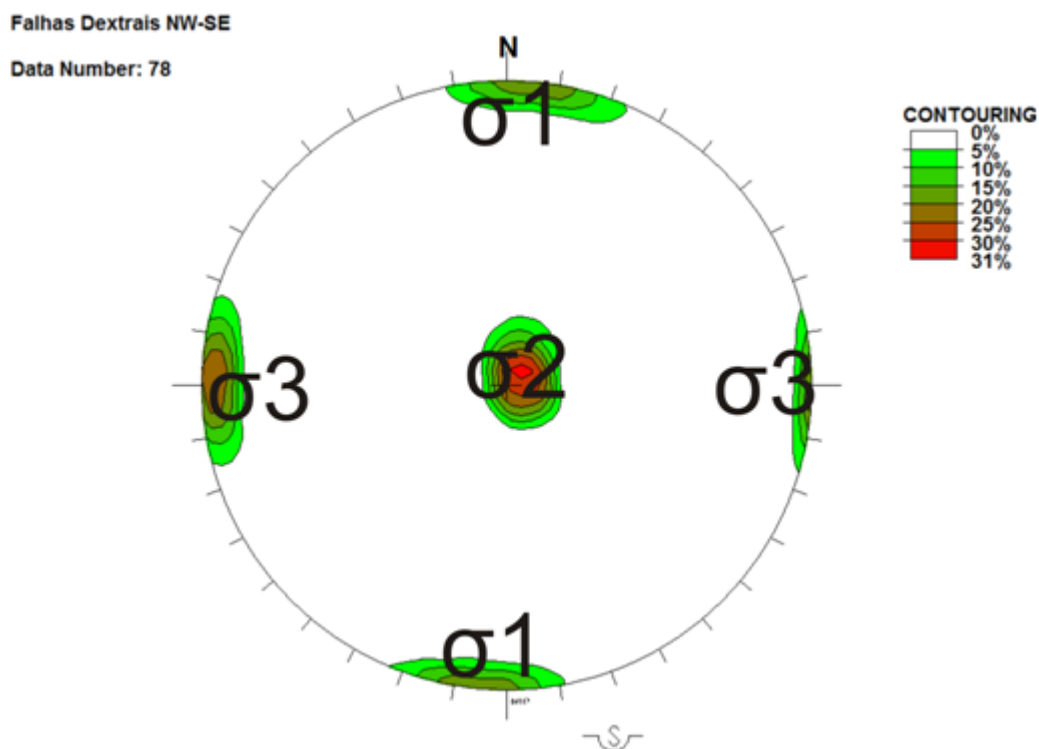


Figura 4.23 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas dextrais NW-SE. Diagramas do plano M (Arthud, 1969).

O terceiro conjunto é composto por falhas sinistras NE-SW. Este conjunto de falhas possui como atitudes de seus tensores: σ_1 subhorizontal N-S ($02^\circ/006^\circ\text{Az}$), σ_2 vertical ($86^\circ/107^\circ\text{Az}$) e σ_3 subhorizontal E-W ($05^\circ/276^\circ\text{Az}$) (Figs. 4.24 e 4.25).

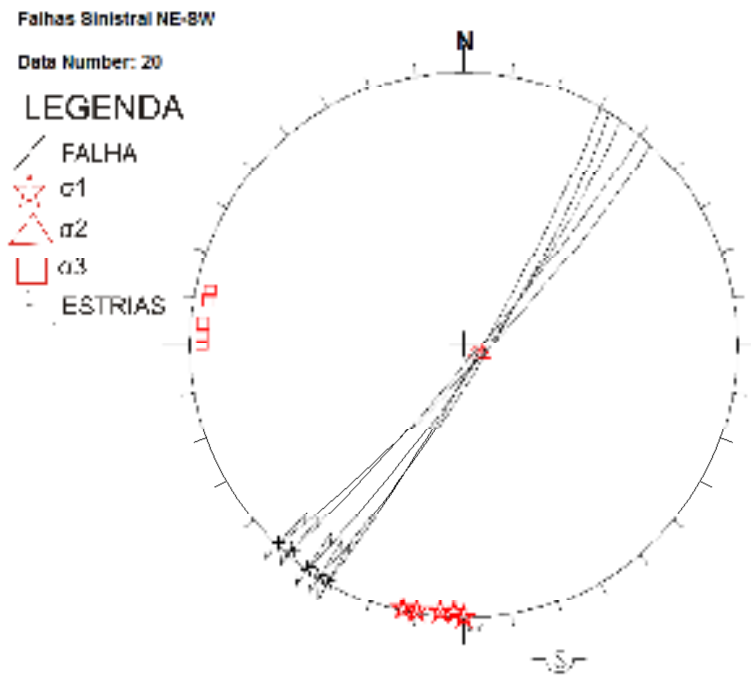


Figura 4.24 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente sinistral NE-SW e com o Plano M e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969) (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

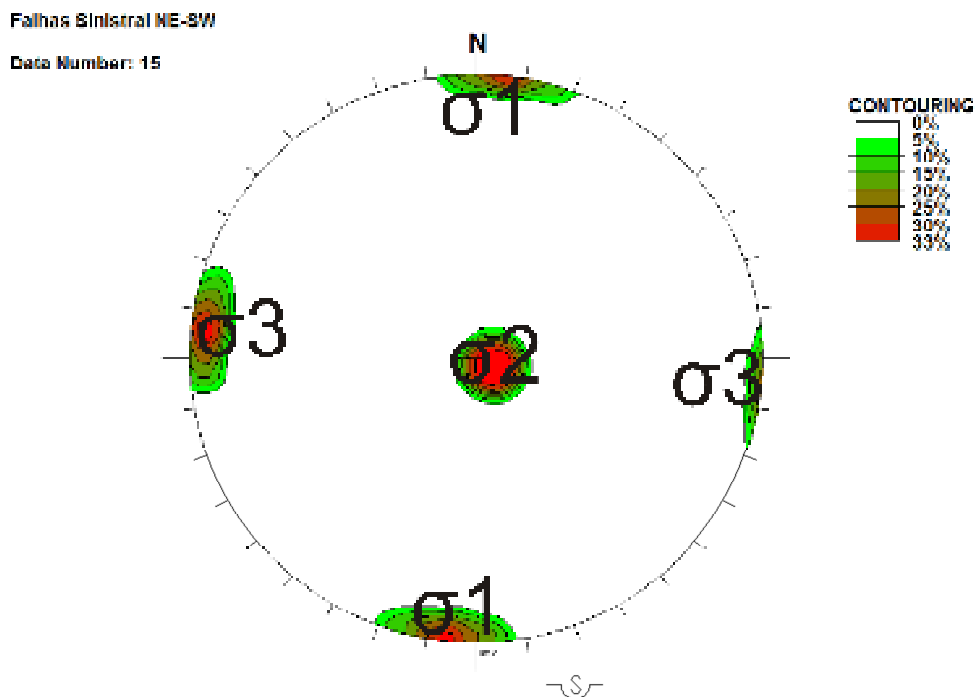


Figura 4.25 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas sinistras NE-SW. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969).

O quarto conjunto é composto por falhas sinistras NW-SE. A cinemática destas falhas foi determinada também pelas fraturas de Riedel (Fig. 4.26). As falhas possuem como atitudes de seus tensores σ_1 subhorizontal WNW- ESE ($04^\circ/112^\circ\text{Az}$), σ_2 vertical ($83^\circ/078^\circ\text{Az}$) e σ_3 subhorizontal NNE-SSW ($04^\circ/200^\circ\text{Az}$) (Figs. 4.27 e 4.28).

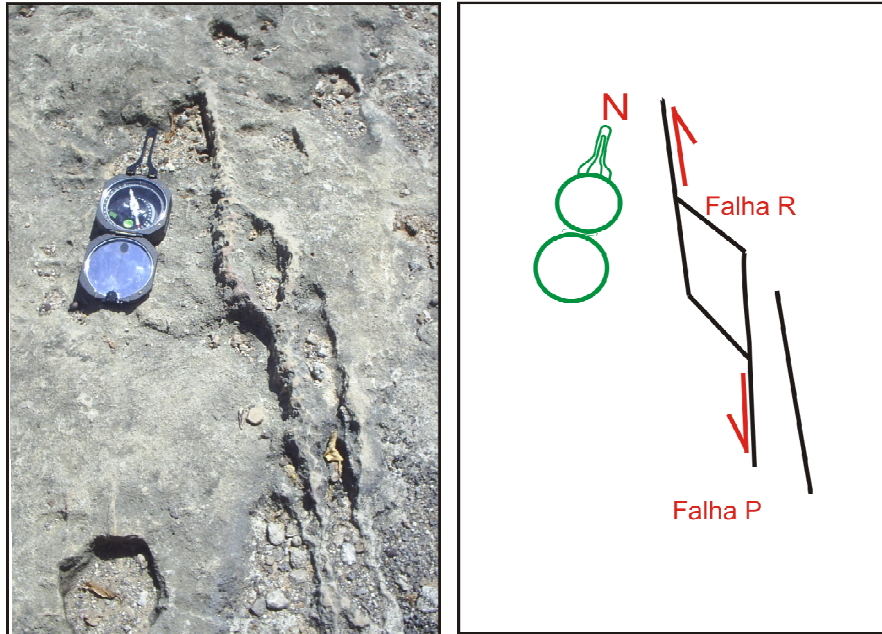


Figura 4.26 – Exemplo das juntas de cisalhamento de Riedel como critério para a definição das falhas transcorrente sinistral NW-SE em rochas calcárias da Formação Jandaíra. Ponto D37 (coordenadas: x – 0709848 / y – 9404477).

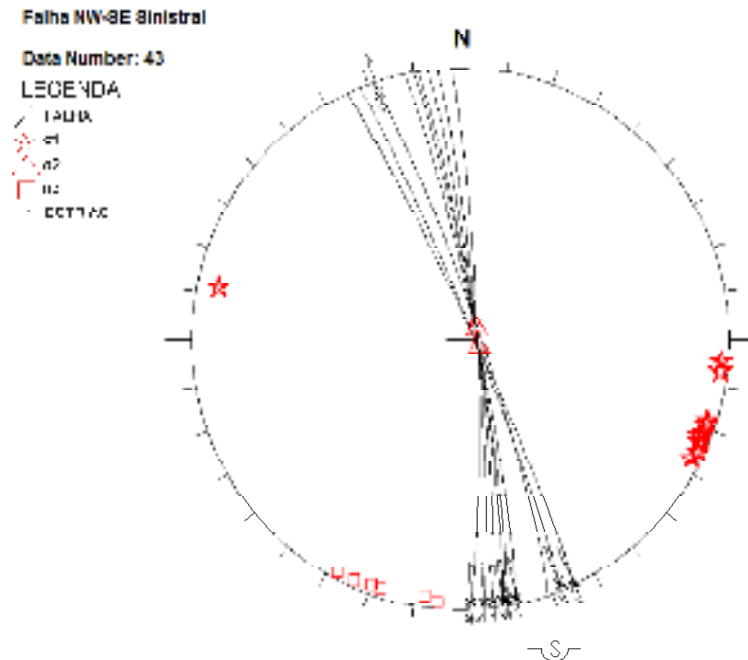


Figura 4.27 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente sinistral NW-SE e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

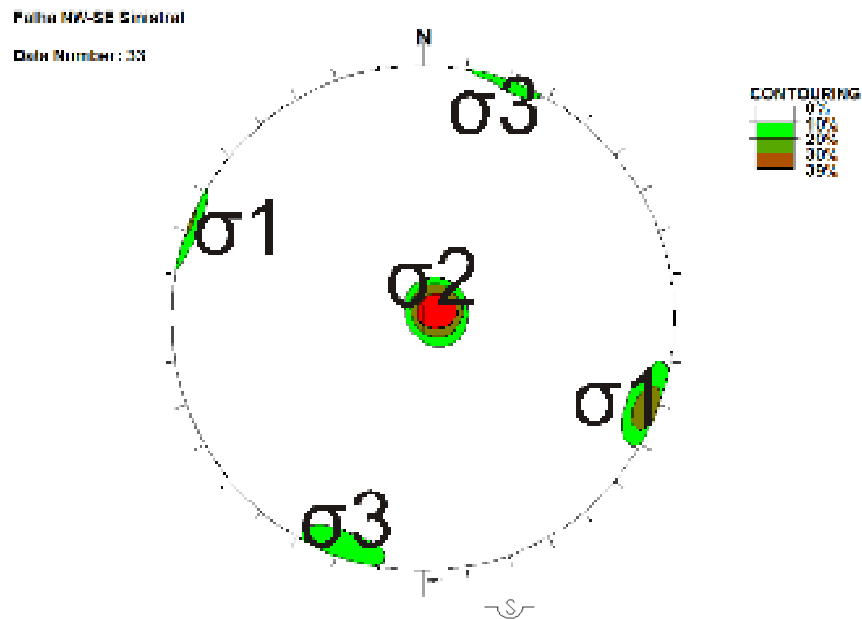


Figura 4.28 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas sinistras NW-SE. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969).

O quinto conjunto de falhas, cuja cinemática foi determinada através das fraturas de Riedel, é composto por falhas dextrais NE-SW. Tais falhas possuem como atitudes de seus tensores: σ_1 subhorizontal WSW-ENE ($02^\circ/242^\circ$ Az), σ_2 vertical ($85^\circ/303^\circ$ Az) e σ_3 subhorizontal NNW-SSE ($05^\circ/249^\circ$ Az) (Fig. 4.29 e 4.30).

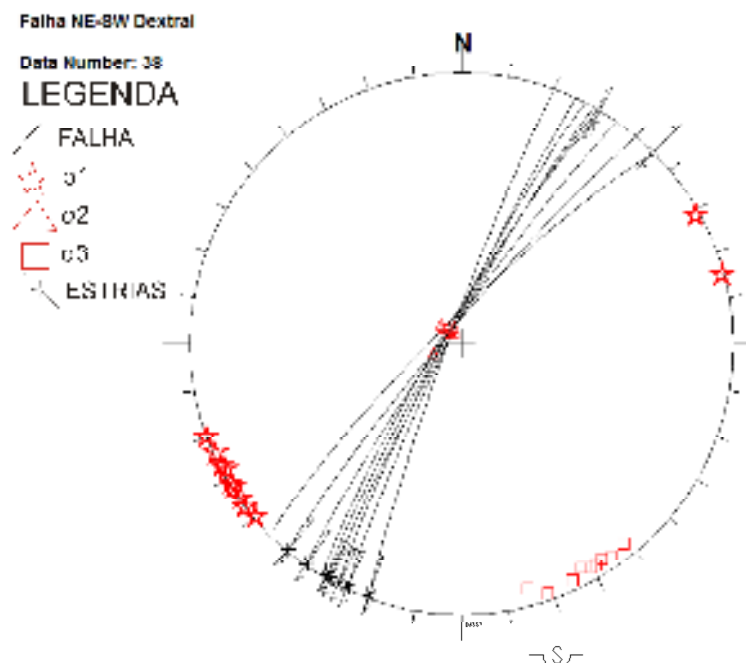


Figura 4.29 – Projeção ciclográfica das falhas transcorrente dextral NE-SW e seus tensores máximo (σ_1), intermediário (σ_2) e mínimo (σ_3). Diagramas do plano M (Arthuad, 1969). (Projeção no hemisfério inferior – Diagrama de Schmidt-Lambert).

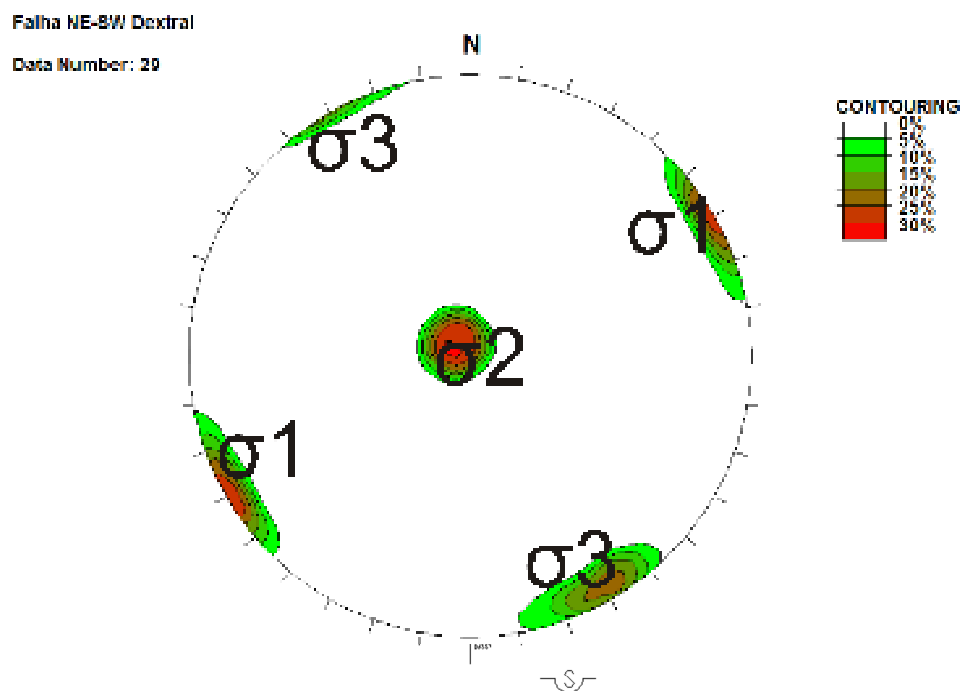


Figura 4.30 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir de conjuntos de falhas dextrais NE-SW. Diagramas do plano M (Arthud, 1969).

4.6 - Análise das Paleotensões

As falhas analisadas separadamente no item anterior foram organizadas seguindo grupos de mesma compatibilidade cinemática e dividida em dois campos: Campo “1” e Campo “2”.

Com os dados obtidos, o *software Daisy* permitiu calcular os campos de tensão dos dois grupos de falhas, medidos através do método do plano M (Arthud, 1969). O “Campo 1” engloba as falhas normais, transcorrente dextral de direção NW-SE e transcorrente sinistral NE-SW. É caracterizado por um compressão máxima (σ_1) subhorizontal, aproximadamente uma compressão N-S e uma distensão E-W. O “Campo 1” obteve como atitudes de seus tensores os seguintes tensores: σ_1 horizontal N-S ($03^\circ/181^\circ\text{Az}$), σ_2 vertical ($86^\circ/048^\circ\text{Az}$) e σ_3 horizontal E-W ($03^\circ/274^\circ\text{Az}$) (Fig. 4.31).

O “Campo 2” é caracterizado por uma compressão E-W e distensão N-S, correspondente as falhas transcorrente sinistral de *trend* NW-SE e as falhas direcionais dextral NE-SW. Este campo obteve como atitude de seus tensores os seguintes resultados: σ_1 subhorizontal E-W ($04^\circ/268^\circ\text{Az}$), σ_2 subvertical ($88^\circ/027^\circ\text{Az}$) e σ_3 subhorizontal N-S ($03^\circ/356^\circ\text{AZ}$) (Fig. 4.32).

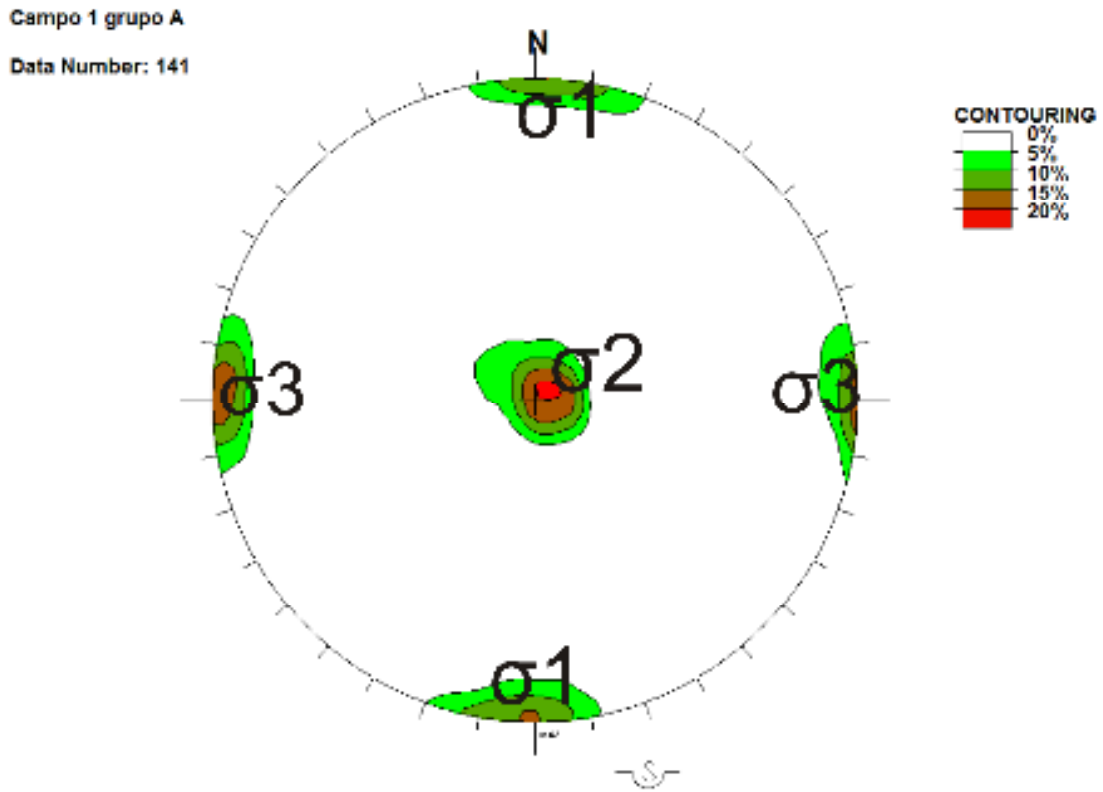


Figura 4.31 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir do conjunto de tensores pertencentes ao “Campo 1”. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969).

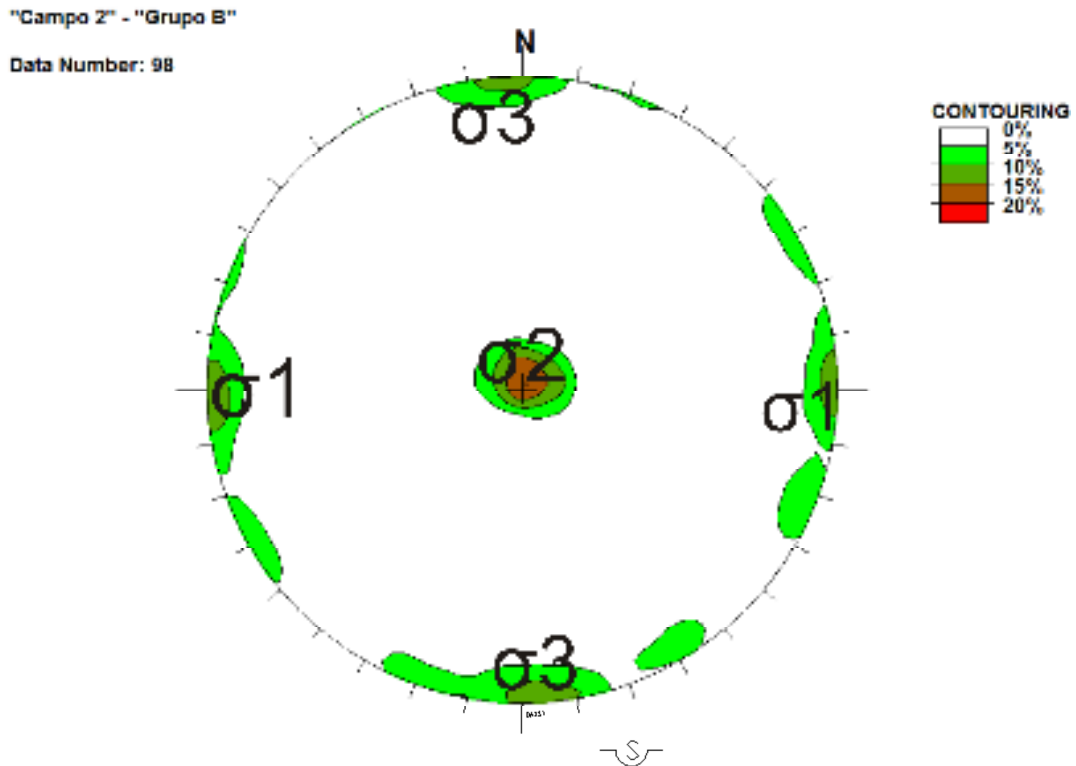


Figura 4.32 - Diagrama de contorno de Paleotensores (σ_1 , σ_2 e σ_3), a partir do conjunto de tensores pertencentes ao “Campo 2”. Diagramas do plano M (Arthuad, 1969).

4.7 - Cronologia Relativa dos Campos de Tensão

Enfim, determinados os campos de tensões que afetam a área em estudo, é necessário definir a idade ou período de atuação de cada campo, tornando-se importantíssimo para se entender o padrão geométrico e estrutural da área. A idade de atuação de um campo de tensão pode ser inferida, ou em alguns casos mais precisamente determinada, quando se estudam rochas de diferentes idades.

Como no caso desta dissertação estudamos somente deformações associadas à Formação Jandaíra, será possível apenas fazer uma cronologia relativa desses campos de tensão determinados.

Os campos de tensões que afetam uma determinada região estão relacionados a eventos geológicos de mega escala como a tectônica de placas. De acordo com os dados adquiridos nos tópicos anteriores, foi estabelecido dois campos de tensão atuantes. O primeiro campo (“Campo 1”) atuou na Bacia Potiguar do Campaniano ao Mioceno (Sousa & Bezerra, 2005), e corresponde as falhas transcorrentes dextrais com *trend* NW-SE, falhas transcorrente sinistral de *trend* NE-SW e as falhas normais de direção principal N-S. Este campo possui compressão máxima (σ_1) subhorizontal de direção principal N-S e distensão máxima subhorizontal (σ_3) com direção principal E-W (Fig. 4.32). Segundo Françolin & Szatmari (1987), após o Campaniano (Cretáceo Superior), um evento compressivo de direção N-S foi provocado durante o processo de separação dos continentes Sul-Americano e Africano.

O segundo campo (“Campo 2”) atuante no contexto neotectônico, estabelecido por Ferreira *et al.* (1998), Bezerra *et al.* (2000) e Moraes Neto (2003), este campo compreende as falhas transcorrentes sinistrais de *trend* NW-SE e dextral de *trend* NE-SW. Este campo possui compressão máxima (σ_1) subhorizontal de direção principal E-W e distensão máxima (σ_3) subhorizontal com direção N-S (Fig. 4.33) e está relacionado ao empurrão da dorsal meso-oceânica Atlântica.

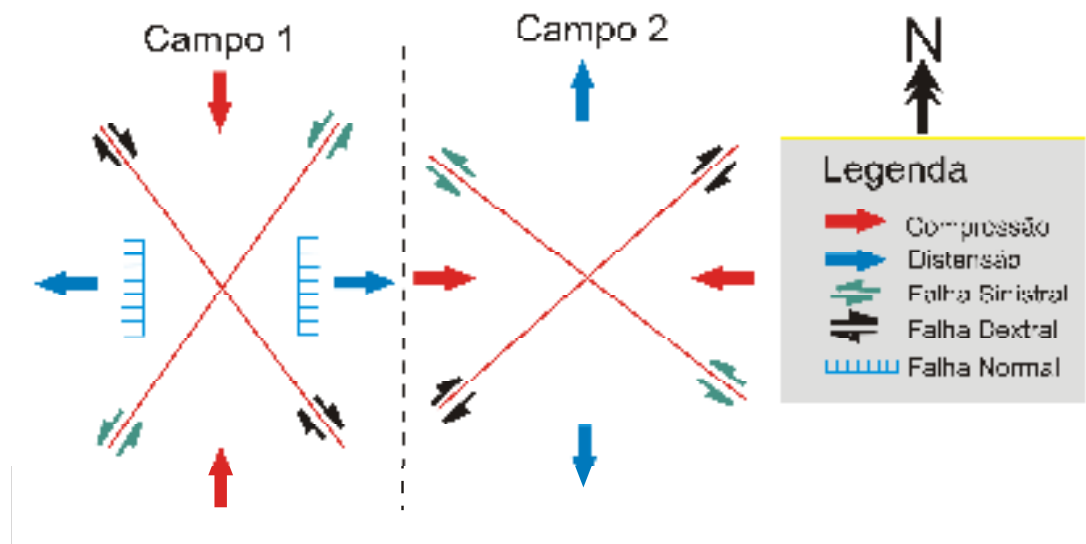


Figura 4.33- Esquema da relação entre os grupos de estruturas A e B e os campos de tensões 1 e 2, respectivamente.

4.8 - Conclusões

As estruturas tectônicas mapeadas são juntas e dois tipos de falhas: normal e transcorrente. As juntas possuem quatro direções: NW-SE, NE-SW, N-S e E-W. Destacam-se as juntas NW-SE presente em toda a área de estudo e paralelas ao Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas. As falhas normais possuem direção principal aproximadamente N-S, as falhas transcorrentes possuem duas direções: NW-SE, que varia entre 335°Az a 345°Az, caracterizado como o principal conjunto de falhas, e NE-SW, que varia entre 030°Az a 045°Az. Ambos os grupos de falhas transcorrentes têm cinemática dextral e sinistral.

Assim, com esse dados foi possível determinar dois campos de tensões, denominados de “Campo 1” e “Campo 2”. O “Campo 1” possui compressão máxima (σ_1) subhorizontal com direção principal N-S, distensão máxima subhorizontal (σ_3) com direção principal E-W e eixo intermediário (σ_2) subvertical. Este campo compreende as falhas transcorrente dextrais com *trend* NW-SE, falhas transcorrente sinistral de *trend* NE-SW e falha normal de direção principal N-S. O “Campo 2” possui compressão máxima (σ_1) subhorizontal com direção principal E-W, distensão máxima (σ_3) subhorizontal com direção N-S e eixo intermediário (σ_2) subvertical. Este campo compreende as falhas transcorrentes sinistral com *trend* NW-SW e transcorrentes dextral de *trend* NE-SW.

Diferentemente do que ocorre no Sistema de Falhas Afonso Bezerra, onde a silicificação é muito comum, o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas não apresenta

silicificação. Isto indica que apesar de haver uma gama de estruturas tectônicas no Sistema Poço Verde – Caraubas, este é menos penetrativo que o Sistema Afonso Bezerra. Assim, o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas é caracterizado na sequência pós-rifte principalmente por falhas de escala mesoscópica.

5. Discussões e Conclusões

A partir de produtos de sensores remotos foi possível traçar lineamentos e concluir que esses lineamentos concentram-se em quatro direções principais: NW-SE, NE-SW, N-S e subordinadamente E-W. Os lineamentos extraídos no Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas correspondem às drenagens e cristas alinhadas. O *set* NW-SE forma canais de drenagem secundários em relação ao Rio Mossoró e aparece em mais alta frequência, quando se leva em conta o número de lineamentos, em relação aos demais *sets*. Entretanto, o *set* NE-SW é mais ressaltado quando os lineamentos são normalizados em relação ao tamanho. Este *set* é evidenciado pelo curso principal do Rio Mossoró e pode controlar depósitos de coberturas sedimentares quaternárias (Depósitos Aluvionares Antigos e Depósitos de Canal), além de cristas alinhadas localizadas no extremo sul da área de contato entre a Formação Açú e Jandaíra.

O *set* N-S é mais disperso e possui baixa frequência. Ele também pode representar um controle da deposição dos depósitos quaternários (depósitos aluvionares de planície de inundação e de canal) do Rio Mossoró. Por fim, o *set* E-W é o menos comum e é marcado principalmente por canais de drenagem secundários do rio Mossoró e em pequenas cristas alinhadas.

Porém, analisando-se somente as imagens de radar (SRTM), o *set* de lineamentos que mais se destaca é o NE-SW, diferentemente do observado nas imagens de Satélite *Landsat ETM+*, que indica uma predominância dos lineamentos na direção NW-SE, compatível com o *trend* principal do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas. Isso ocorre devido ao fato que as imagens SRTM não foram submetidas a processos de filtragem direcional que intensifica os lineamentos.

Os lineamentos apresentados estão relacionados às falhas, principalmente mesoscópicas, e juntas existentes na área de estudo, visto que as estruturas tectônicas presentes na área possuem direções compatíveis com as encontradas nos lineamentos.

As meso-estruturas mapeadas foram às juntas e falhas. As juntas possuem quatro direções principais: NW-SE, NE-SW, N-S e E-W. Destaca-se as juntas NW-SE presente em toda a área de estudo e paralelas ao Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas. As juntas apresentam-se preenchidas ou não (juntas secas). Seu preenchimento é composto

por tufas calcárias e calcita, principalmente no *set* NW-SE. As juntas secas apresentam-se em todos os *sets*, mas destacam-se as de *trend* NW-SE. As juntas possuem geometria retilínea a curvilínea. Seus comprimentos variam de alguns centímetros até 10 m; o espaçamento varia de 3 cm a 2 m em média; o preenchimento da calcita varia de 1 a 4 mm de espessura, enquanto o preenchimento por tufas calcárias chega até 10 cm de espessura.

Foram utilizados dois critérios para determinação da idade relativa dessas juntas. O primeiro foi o truncamento de *sets*. Este critério indica que o *set* mais novo é interrompido pelo *set* já existente e, conseqüentemente, mais contínuo. O segundo critério foi o preenchimento. As juntas preenchidas são mais antigas do que as juntas secas. De acordo com esses dois critérios e as observações em campo o *set* mais antigo possui direção principal NW-SE, seguido da NE-SW, N-S, e por fim E-W.

As falhas apresentavam-se em dois tipos: normal e transcorrente. As falhas normais possuem direção principal aproximadamente N-S. Essas falhas possuem extensão de 5 - 20 m, direção variando de 330°Az a 355°Az, mergulho variando entre 48° a 60°, com pequenos rejeitos.

As falhas transcorrentes possuem direção NW-SE (*trend* principal) e NE-SW, ambas com cinemática dextral e sinistral. As falhas NW-SE variam de 335°Az a 345°Az e mergulhos entre 83° e 90° para NE ou SW. As falhas NE-SW variam de 030°Az a 045°Az e com mergulhos entre 83° a 90° para NW ou SE.

Com os dados de falhas, foi possível determinar dois campos de tensão atuantes no Sistema de Falha Poço Verde-Caraúbas. O “Campo 1” composto pelas falhas normais, transcorrentes dextrais de *trend* NW-SE e transcorrentes sinistrais com *trend* NE-SW, este campo possui como atitudes de seus eixos de tensão: σ_1 suhorizontal N-S (03°/181°Az), σ_2 vertical (86°/048°Az) e σ_3 horizontal (03°/274°Az). O “Campo 2” é composto por falhas transcorrentes sinistrais, com *trend* NW-SE, e transcorrentes dextrais de *trend* NE-SW. As atitudes de seus tensores são: σ_1 subhorizontal E-W (04°/268°Az), σ_2 subvertical (88°/027°Az) e σ_3 subhorizontal N-S (03°/356°AZ).

O “Campo 1” pode ser relacionado ao mesmo campo de tensão reconhecido por Françolin & Szatmari (1987). Segundo eles, no Cretáceo Médio (Albiano), a Bacia Potiguar estava submetida a esforços divergentes E-W, que causaram cisalhamento dextral na atual margem equatorial brasileira. Este campo de tensão, que iniciou sua

atuação no mesmo período de deposição dos arenitos da Formação Açú, ultrapassou o Turoniano, idade de instalação da plataforma carbonática, que representa os calcários da Formação Jandaíra, ultrapassou também o Campaniano e perdurou até o limite Cretáceo-Terciário.

Oliveira (1993) informa que o modelo de deformação é condicionada por uma compressão N-S e extensão E-W, com o eixo σ_2 verticalizado, exatamente o que ocorre na área do Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas. Oliveira (1993) propõe que esse sistema de tensão seria o responsável por movimentos transcorrente dextrais (NW) e sinistrais (NE), ocorridos durante o Terciário Superior. Porém a idade do evento ainda é muito discutida.

Há duas alternativas que indicam que processos de reativação podem estar relacionados ao limite Cretáceo/Terciário. Matos (1993) indica que a Bacia Potiguar sofreu forte erosão campaniana nas sequências cretáceas (Formação Jandaíra e Açú). Outra alternativa pode estar relacionada ao tectonismo que gerou o Magmatismo Macau (40-20 Ma), sugerido no mapa geológico de Fortes (1987).

Jardim de Sá *et al.* (1999) propõem o contexto de um domo assimétrico, alongado no eixo N-S, gerador de extensão em toda superfície horizontal, contudo pronunciada no eixo E-W, em relação ao N-S. Esta situação poderia aparentar uma compressão N-S que na realidade seria uma extensão mínima nesta direção. Estes autores associa também esse evento ao Magmatismo Macau.

O “Campo 2” coincide com o campo neotectônico e foi proposto por vários autores (Ferreira *et al.*, 1998; Bezerra & Vita-Finzi; 2000; Moraes Neto, 2003). Segundo Bezerra & Vita-Finzi (2000) este campo de tensão teria iniciado sua atuação desde o Plioceno (Terciário Superior) até os dias atuais, no Holoceno.

Os campos de tensões estabelecidos para a área de estudos podem estar relacionados a outros campos já propostos anteriormente por outros autores (Fig. 5.1).

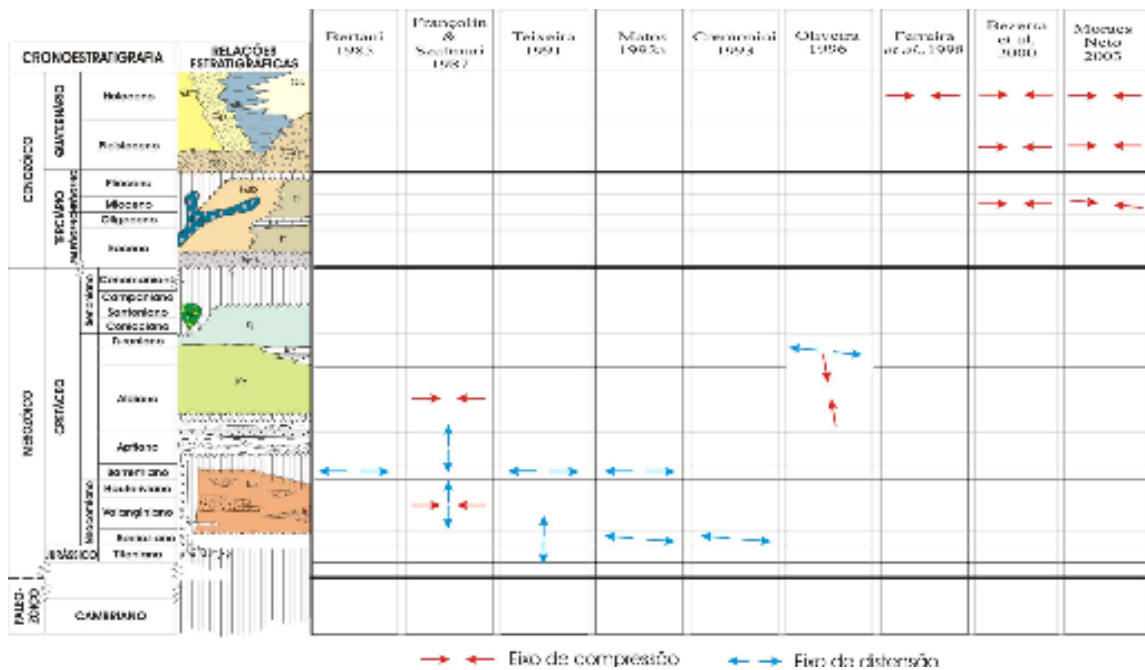


Figura 5.1- Quadro comparativo dos dados de paleotensões obtidos por diversos autores para a Bacia Potiguar (modificado de Almeida, 2003). Coluna crono-estratigráfica modificada a partir do Mapa Geológico do Rio Grande do Norte (Mont’Alverne et al., 1998).

A presença e distribuição espacial das estruturas (falhas transcorrentes, normais, juntas secas e preenchidas) com direções principais NW-SE, junto com a compatibilidade entre os conjuntos estudados, no contexto da evolução do Sistema de Falhas NW-SE (transcorrente dextral no campo mais antigo e transcorrente sinistral no campo atual), indica uma relação muito clara entre as estruturas rasas e o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas de *trend* principal NW-SE. Na maioria dos casos, as estruturas rasas observadas representam a expressão em superfície dos grandes sistemas de falhas.

O Sistema Poço Verde-Caraúbas, identificado em levantamentos sísmicos, afeta a fase rifte da Bacia Potiguar. Conclui-se que o mesmo também afeta as unidades pós-rifte desta bacia, como a Formação Jandaíra. Sua expressão nestas unidades, entretanto, é menor que aquela observada no Sistema de Falhas Afonso Bezerra. Não existem grandes lineamentos, nem falhas de comprimento quilométrico, que caracterizem o Sistema de Falhas Poço Verde-Caraúbas nas unidades pós-rifte. A expressão do mesmo nas unidades pós-rifte é feita principalmente através de falhas mesoscópicas. Portanto, é possível que este sistema não seja visualizado nas formações Açú e Jandaíra se apenas dados sísmicos forem levados em consideração.

6 – Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R. B., 2003. **Tectônica Rúptil na Região entre Açu e Upanema/RN, Bacia Potiguar**. 78f. Natal. Relatório (Graduação em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

AMARO, V. E., 1998. **Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de sensoriamento remoto do setor extremo nordeste da Província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozóicas**. 393 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ANGELIM, L.A.A., MEDEIROS, V.C., NESI, J.R., 2006. **Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006.

ARARIPE, P. T. & FEIJÓ, F. J., 1994. **Bacia Potiguar**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 8(1):127-141.

ARTHUAD, F. 1969. **Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles**. Bull. Soc. Géol. France, 7(11):729-737.

BARTLETT, W.L., FRIEDMAN, M., LOGAN, J. M., 1981. **Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure, part IX: wrench faults in limestone layers**. Tectonophysics, 222:1-19.

BERTANI, R. T., ARARIPE, P. T., BELTRAMI, C. V., 1985. **Evolução tectono-sedimentar das bacias sedimentares do Ceará e Potiguar**. UFPE, v. 1, p. 34-35. (Série D: textos didáticos).

BERTANI, R. T., COSTA, I. G., MATOS, R. M. D., 1989. **Evolução tectonosedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar**, In: RAJA GABAGLIA, G. P., MILANI, E. J. (eds.), Origem e evolução de bacias sedimentares: Petrobras, Rio de Janeiro, p. 291-310.

BEZERRA, F. H. R. & VITA-FINZI, C., 2000. **How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil**. Geology. v. 28, p. 591-594.

BRASIL. Mistério das Minas e Energia. 2006. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM. 1 mapa, color. Escala: 1:500.000.

CÓRDOBA, V. C., 2001. **A Evolução da Plataforma carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar**: Análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica. 2001. 239 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, São Paulo.

CREMONINI O. A. 1993. **Caracterização estrutural e evolução tectônica da área de Uharana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 143 p.

DANTAS, A. R., 2004. **Mapeamento estrutural da porção central e sudeste da falha de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar/RN**. Relatório de Graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal.

DESLANDES, S. & GWYN, Q. H. L., - 1991 - **Évaluation de Spot et Seasat pour la cartographie des linéaments: comparaison basée sur l'analyse des spectres de Fourier**. *Can. J. Remote Sensing* 17(2):98-110.

DRUDY, S.A., - 1986 - **Remote sensing of geological structure in temperate agricultural terranes**. *Geol. Mag.* 123:113-121.

FRANÇOLIN, J. B. L. & SZATMARI, P., 1987. **Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira**. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(2): 196-207.

FERREIRA, J. M., OLIVEIRA, R. T., TAKEYA, M. & ASSUMPCÃO, M., 1998. **Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin**. *Geophysical Journal International*, v. 134, p. 314-355.

FORTES, F. P. 1987. **Mapa Geológico da Bacia Potiguar (escala 1:100.000): A origem da Bacia Mesozóica do Apodi como decorrência do ciclo tecto-orogênico Brasileiro**. PETROBRAS/DEBAR/DINTER/SEBAT.

HANCOCK, P.L., AL-HADHI, A, BARKA, A A & BEVAN, T.G., -1987- **Aspects of analysing brittle structures**. *Annales Tectonicae* 1(1):5-19.

JARDIM DE SÁ, E. F., MATOS, R. M. D., MORAIS NETO, J. M., SAADI, A., PESSOA NETO, O. C. P. 1999. **Epirogenia ceozóica na Província Borborema: síntese e discussão sobre os modelos da deformação associados**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7, 1999, Lençóis. Anais, Lençóis: SBG/NE sessão 4, p. 58-61.

MATOS, R. M. D., 1987. **Sistemas de riftes cretáceos do Nordeste Brasileiro**. In: Seminário de Tectônica da Petrobrás, Rio de Janeiro. Atas, Rio de Janeiro: Petrobrás/Depex.

MATOS, R. M. D., 1992a. **Deep seismic profiling, basin geometry and tectonic evolution of intracontinental rift basins in Brazil.** 276f. These (Doctor Philosophy) - Cornell University, U.S.A.

MATOS, R. M. D., 1992. **The Northeast Brazilian Rift System.** *Tectonics*, 11(4): 766-791.

MATOS, R.M.D. 1993. **Resolução sísmica versus modelos geológicos na exploração da Bacia Potiguar.** Natal. PETROBRAS/DEBAR/DIREX. 10p (rel. Interno).

MATOS, R. M. D., 2000. **History of the northeastern Brazilian rift system: kynematic imolication for the breakup between Brazil and Africa.** In: CAMERON, N. R., BATE.

MONT'ALVERNE, A. A. F., JARDIM DE SÁ, E. F., DERZE, G. R., DANTAS, J. R. A., VENTURA, P. E. O. 1998. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, Escala 1:500.000.** DNPM/ UFRN/ PETROBRÁS/ CRM.

MOORE, J. M., 1979. **Tectonics of the Najd transcurrent fault system, Saudi Arabia.** *J. Geol. Soc. London*, 136:441-451

MORAES NETO, J. M., 2003. **Expressão sísmica da deformação frágil Pós-Mioceno na Bacia Potiguar submersa, Nordeste do Brasil.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 9, Búzios. Boletim de resumos. Búzios: SBG, 2003, p. 274.

MORGENSTERN, N. R. & TCHALENKO, J. S., 1967. **Microscopic structures in kaolin subjected to direct shear.** *Geotechnique*, 17:309-328.

O'LEARY, D. W. & SIMPSON, S., - 1975 - **Lineaments and tectonism in the northern part of the Mississippi embayment.** Ann Arbor, Michigan, pp. 965-974.

OLIVEIRA, D. C. 1993. **O papel do Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim na evolução tectônica do nordeste oriental (Brasil): implicações na formação do Rifte Potiguar.** 172f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

OLIVEIRA, D.C., CRUZ Jr. F.W. & MENEZES R.M.R.F., 1996. **Significado geodinâmico da estruturação rasa no extremo sudoeste da Bacia Potiguar (Nordeste do Brasil).** Boletim de resumos, IV Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 1: 95-106, UNESP, Rio Claro, SP

PESSOA NETO, O. C., SOARES, U. M., SILVA, J. G. F., ROESNER, E. H., FLORENCIO, C. P., SOUZA, C. A. V., 2007. **Bacia Potiguar**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro. v. 15, n. 2, p. 357-369, maio/Nov.

PÉREZ, Y. A. R., 2003. **Caracterização Geométrica de Depósitos Sedimentares na Borda Sudoeste da Bacia Potiguar**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - PPGG. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal.

RIEDEL, W., 1929. **Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen**. Zentralbl. Mineral., Abt., pp. 354–368.

SABINS, F.F., -1978 - **Remote Sensing. Principles and Interpretation**. Freeman, New York.

SENA, E.S., 2005. **Análise de Paleotensões na Formação Jandaíra, Bacia Potiguar**. – Relatório de Graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal.

SOARES, U. M., ROSSETTI, E. L., CASSAB, R. C. T., 2003. **Bacia Potiguar. Fundação Paleontológica**. Phoenix. Bacias Sedimentares Brasileiras, Ano 5, nº 55. Agosto/2003.

SOUSA, M.O.L. & BEZERRA, F.H.R., 2005. **As tensões tectônicas campanianas-cenozóicas na Bacia Potiguar**. Brasil. Extended Abstract. XXI Simpósio de Geologia do Nordeste. 329 p.

SOUZA, S. M., 1982. **Atualização da litoestratigrafia da bacia Potiguar**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Bahia, 1982. Sociedade Brasileira de Geologia, Anais, 5: 2392-2406.

SUDENE, **Folha de Mossoró** (SB.24-X-D-I, 1971) com escala 1:100.000.

SYLVESTER, A.G., 1988. **Strike-slip faults**. Bull. geol. Soc. Am. **100**, pp. 1666–1703.

TCHALENKO, J. S., 1968. **The evolution of kink-bands and the development of compression textures in sheared clays.** Tectonophysics, 6:159-174.

WHEELER, R L., - 1983 - **Linesmanship and the practice of linear geo-art: Discussion.** Geol. Soe. Am. Bull. 94:1377-1379.

WISE, D.U., FUNICELLO, R., PAROTTO, M. & SALVINI, F., - 1985 – **Topographic lineaments swarms: clues to their origin from domain analysis of Italy.** Geol. Soe. Am. Bull. 96:952-967.

WOODCOCK, N.H. & SCHUBERT, C., 1994, In: **Continental deformation**, Hancock (editor), Pergamon press. pp. 251-263.

Documentos eletrônicos

Características dos sensores remotos ativos e passivos em:
<http://southport.jpl.nasa.gov>. Acessado em 10 de Setembro de 2008.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)