



Faculdade de Geologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MAURÍCIO VICTOR ELLERES JORGE

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE
CONTATO CRÁTON SÃO LUIS X PROVÍNCIA BORBOREMA X BACIA DO
PARNAÍBA, NA REGIÃO LÍMITROFE PIAUÍ – CEARÁ- MARANHÃO**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELEM – PARÁ
AGOSTO DE 2013

MAURÍCIO VICTOR ELLERES JORGE

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE
CONTATO CRÁTON SÃO LUIS X PROVÍNCIA BORBOREMA X BACIA DO
PARNAÍBA, NA REGIÃO LÍMITROFE PIAUÍ – CEARÁ- MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de
Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade
Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento as exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco
Assis Matos de Abreu.

Belém

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

J82c Jorge, Maurício Victor Elleres

Contribuição ao conhecimento geológico da área de contato Cráton São Luis X Província Borborema X bacia do Parnaíba, na região limítrofe Piauí - Ceará - Maranhão / Maurício Victor Elleres Jorge – 2013

83 f. : il.

Orientador: Francisco Assis Matos de Abreu

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Gravidade (Física) - Medição. 2. Geologia estrutural. 3. Cráton São Luis. I. Abreu, Francisco Assis Matos de, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 531.14

MAURÍCIO VICTOR ELLERES JORGE

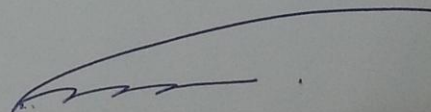
CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE
CONTATO CRÁTON SÃO LUIS X PROVÍNCIA BORBOREMA X BACIA DO
PARNAÍBA, NA REGIÃO LÍMITROFE PIAUÍ – CEARÁ- MARANHÃO

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de
Geologia do Instituto de
Geociências da Universidade
Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento as exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

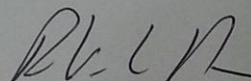
Data da aprovação: 18/09/2013

Conceito: EXCELENTE

Banca examinadora:



Prof. Dr. Francisco Assis Matos de Abreu. – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro – Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. José Gouvêa Luiz – Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMI

À minha família,
Mauro Jorge, Vera Jorge e Marilene Costa

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me guiado e direcionado durante toda minha vida, não deixando eu me afastar dos seus caminhos e me dando forças e sabedoria pra continuar e superar os obstáculos encontrados até aqui.

Aos meus pais Mauro e Vera, por terem me dado apoio e educação para que hoje eu estivesse aqui realizando este sonho.

A minha segunda mãe Marilene Costa, por estar presente na minha vida durante todos estes anos.

Aos meus familiares que foram de extrema importância na trajetória da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Matos de Abreu, pelas orientações prestadas neste trabalho e na minha vida acadêmica, assim como o apoio, companheirismo e amizade construída ao longo desse tempo.

Ao Prof. Roberto Vizeu pelas críticas e sugestões extremamente construtivas referentes a este trabalho.

Ao Prof. José Gouvêa, por ter me auxiliado e dado suporte na parte de geofísica deste trabalho.

Ao técnico e amigo Afonso Quaresma, pois sem sua ajuda esta trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao geólogo Osmar Guedes, pelo auxílio e ensinamentos neste trabalho.

Aos amigos mais chegados: Renato Sol, Luiz Fernando, Lucas Cunha, Paulo Victor, Tiago Aguiar, José Rosa, Carlos Alberto, Iara Maria, Paulo Roberto, Raphael Neto, Bruna Nogueira, João Victor, Aldemir Sotéro, Haline Vaconcellos, Chafic Neto, Rafael Estumano, Felipe Rudá, Ingrid Roberta, Flc Menezes, Luisa Dias, Juvenal Neto, Carla Braga, Carla Batista, Priscila Amar

A toda a turma de Geologia de 2008, por ter compartilhado tantos momentos juntos, em cada uma das nossas viagens e confraternizações durante o curso.

A toda a turma de 2009 pela amizade construída ao longo do curso, em especial a galera da bola: Thomas Moraes, João Paulo Queiroz, Jhon Afonso, Paulo Sérgio Costa, Saulo Nunes, Luciano Castro, David Ramos, Almir Conceição, Kauê Seoane, Lucios Campos.

A todos os outros alunos e professores que participaram da minha vida acadêmica de forma direta e indireta.

RESUMO

Na região limítrofe dos estados do Maranhão-Piauí-Ceará, tendo como referências as cidades de Rosário – MA, Parnaíba – PI e Chaval – CE situa-se a área de contato de três entidades geotectônicas brasileiras: o extremo NW da Província Borborema, a borda oeste-sudeste do Cráton São Luis e a porção norte da Bacia do Parnaíba. O Cráton São Luis constituiu-se uma entidade geotectônica edificada ao final do Paleoproterozóico, na verdade um fragmento de uma unidade bem maior, o Cráton Oeste Africano. Na borda do Cráton São Luis estabeleceu-se, sobretudo no Neoproterozóico, intensa atividade geológica (magmatismo, retrabalhamento crustal e forte tectonismo) que se revela na janela estrutural que ocorre na região limítrofe Pará-Maranhão. Essa fenomenologia está relacionada aos processos geológicos que edificaram a Província Borborema, sobretudo aqueles assinalados na sua porção mais ocidental, o Domínio Médio Coreaú. Na área específica do trabalho deste TCC, ocorre o granitoide Chaval, além de migmatitos híbridos, conforme denominação encontrada no Projeto Jaibaras (CPRM – 1973). A Bacia do Parnaíba formada pela porção paleozóica (Bacia do Parnaíba sensu stricto) e parcialmente superposta pela cobertura epicontinental mesozóica (Bacia do Grajaú), está representada pelo Grupo Serra Grande (Silurino) composto por arenitos grossos e arenitos conglomeráticos. A área é rica em delgadas coberturas sedimentares cenozóicas (Grupo Barreiras) e recentes que revelam em janelas estruturais as rochas subjacentes. No sentido de contribuir para a definição dos contatos, muitas vezes encobertos, entre essas unidades geotectônicas, a área foi objeto de um trabalho de análise de elementos de relevo e de drenagem, o que permitiu a compartimentação da mesma em zonas homólogas, a partir do uso de vários produtos de sensores remotos, utilizando-se parâmetros litológicos, morfogenéticos e deformacionais. Aliado a este estudo de elementos de relevo e drenagem foi realizado um levantamento gravimétrico para tentar demarcar com maior precisão a passagem destas unidades geotectônicas, tendo por base a análise das densidades das rochas e a sua distribuição nos diversos compartimentos. Esses procedimentos metodológicos fortaleceram a separação de áreas com comportamentos distintos, em termos de densidade, abrindo dessa forma uma alternativa para a marcação dos limites das entidades geotectônicas subjacentes pelos reflexos que impõem na composição desses elementos morfométricos.

Palavras – chave: Gravimetria. Geologia estrutural. Cráton São Luis.

ABSTRACT

The region bordering the states of Maranhão, Piauí, Ceará, taking as reference the cities of Rosario - MA, Parnaíba - PI and Chaval - CE. This region is important because located in the contact area of geotectonic three entities: the extreme NW Borborema Province, the east- southeastern edge of the São Luis Craton and the northern portion of the Parnaíba Basin. The São Luis Craton is a geotectonic entity built at the end of the Paleoproterozoic and a fragment of a much larger unit, the West African Craton. At the edge of the São Luis Craton, partially regenerated geotechnical, settled mainly in the Neoproterozoic, intense geological activity At the edge of the São Luis Craton, partially regenerated geotechnical, settled mainly in the Neoproterozoic, intense geologic activity (magmatism, crustal reworking and strong tectonics) who reveals himself in the window structure that occurs in the neighboring Pará-Maranhão. This phenomenology is related to geological processes that built the Borborema Province, especially those reported in the Dominion middle Coreaú. In the specific area of work, occur the granitoid Chaval and migmatites hybrids, as found in the nomination Jaibaras Project (CPRM - 1973). The Parnaíba Basin formed by a portion of Paleozoic (Parnaíba Basin sensu stricto) and partially overlapped by Mesozoic epicontinental coverage (Grajaú Basin), is represented by the Serra Grande Group (Silurino) composed of coarse sandstones and conglomeratic sandstones. The area is rich in thin Cenozoic sedimentary covers (Group Barriers) and recent structural windows that reveal in the underlying rocks. In order to contribute to the definition of contacts, often hidden among these geotectonic units, the area was the subject of a thorough job analysis elements of relief and drainage, allowing the partitioning of it into homologous zones, taking as a basis the methodology proposed by Soares and Fiori (1976). Thus, the relief was divided into two regions homologous factors second lithologic and morphogenetic deformation. Allied to this study elements of relief and drainage work was undertaken of gravity survey to try to demarcate more precisely the passage of these geotectonic units, which by analysis of the densities of basement rocks. These methodological procedures allowed the separation of areas with different behaviors, whose correlation with the underlying land is the subject of compatibility, thus opening an alternative for marking the limits of the underlying entities geotectonic reflexes by imposing morphometric composition of these elements.

Key - words: Gravimetry. Structural geology. Craton São Luis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	18
Figura 2: A fragmentação do Cráton Oeste Africano, gerando o Cráton São Luís, no final do Paleoproterozóico. (Fonte: Mabessone ,2002).....	22
Figura 3: Contexto geológico do cinturão do Gurupí e do Cráton São Luis. (Fonte: Klein et. al. 2005).....	23
Figura 4: Domínios da PB segundo Britto Neves et al. (2001) . Modificado de Santos et al. (2004).....	24
Figura 5: A Bacia do Parnaíba, contextualizada no mapa da América do Sul.(Fonte: Santos et al, 2004).	26
Figura 6: Bacias do Meio Norte do Brasil, incluindo a Bacia do Parnaíba e seção NW-SE com as principais unidades estratigráficas (Góes e Coimbra 1996, Caputo et al 2005).	28
Figura 7: Coluna Litoestratigráfica da Região estudada.....	39
Figura 8: Mapa de localização da Folha Cocal (SA.24-Y-C-I).....	42
Figura 9: Mapa de Zonas Homólogas de Relevo da Folha Cocal, elaborado originalmente na escala de 1:100.000.	44
Figura 10: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo na zona homóloga B. O trend mais persistente é NW-SE e com menor intensidade ocorre o trend NE-SW.	45
Figura 11: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem da Folha Cocal, elaborado originalmente na escala de 1:100.000.	47
Figura 12: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, Identifica direções preferenciais NE-SW na zona Homóloga 1.....	48
Figura 13: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, identificando direções preferenciais NE-SW na zona homóloga 2.....	49

- Figura 14: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, identificando direções preferenciais NW-SE na zona homóloga 3..... 49
- Figura 15: Mapa de Zonas Homólogas de Relevos, elaborado originalmente na escala de 1:100.000, destacando os Alinhamentos de Relevos. As Quebras Negativas estão definindo as Zonas Homólogas. (segundo Medeiros 2011). 51
- Figura 16: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga A. O trend mais abundante é para NE-SW e com menor intensidade ocorre o trend NW-SE. 52
- Figura 17: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga B, com orientação preferencial NE-SW. 52
- Figura 18: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga C. Estão presentes direções NE-SW e NW-SE. 53
- Figura 19: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem, elaborado originalmente na escala de 1:100.000, apresentando traços de alinhamento de drenagem e formas anômalas de drenagem. (Fonte: Medeiros 2011). 54
- Figura 20: Mapa identificando os traços de alinhamento de drenagem, elaborado originalmente na escala de 1:100.000, segundo Medeiros (2011). 55
- Figura 21: Rosácea dos traços de alinhamento de drenagem para a Zona Homóloga A, identificando direções preferenciais NW-SE e de forma secundária NE-SW, segundo Medeiros (2011)..... 56
- Figura 22: Rosácea identificando a direção dos traços de alinhamentos de drenagem da Zona Homóloga B, mostrando trend preferencial NW- segundo Medeiros (2011). 56
- Figura 23: Rosácea definindo a direção preferencial dos traços de alinhamento de drenagem da Zona Homóloga C, mostrando trend preferencial NE-SW, segundo Medeiros (2011). 57

Figura 24: Mapa geológico de porção centro-norte do Brasil (Fonte: compilado e modificado de CPRM 2003).....	58
Figura 25: Mapa mostrando imagens SRTM das folhas Cocal e Chaval, destacando a morfologia do terreno.	62
Figura 26: Imagem SRTM mostrando a porção meio Norte do Brasil, com destaque para a disposição dos Rios Parnaíba e Munim.	64
Figura 27: Mapa de anomalia Bouguer da área estudada, com intervalo de 10 mGal.	67
Figura 28: Mapa Bouguer da região estudada.	68
Figura 29: Perfil gravimétrico (valores medidos representados pelo sinal + e calculados representados pela linha contínua) segundo o segmento AB mostrado na figura 27 e modelo de distribuição de densidade para a subsuperfície.	69
Figura 30: Modelo esquemático da seção geológica da área estudada.....	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
---------------------------	-----------

1.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO	17
1.2 OBJETIVOS	19
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS.....	22
2.1 CRÁTON SÃO LUIS	22
2.2 PROVÍNCIA BORBOREMA.....	24
2.3 A BACIA DO PARNAÍBA	25
2.4 AS COBERTURAS MESO-CENOZÓICAS.....	27
2.5 LITOESTRATIGRAFIA	29
2.5.1 EMBASAMENTO	29
2.5.1.1 Suíte Rosário.....	30
2.5.1.2 Complexo Granja.....	30
2.5.1.3 Grupo Martinópole.....	30
2.5.1.4 Granitóide Chaval.....	31
2.5.2 - COBERTURAS.....	31
2.5.2.1 A Bacia do Parnaíba.....	31
2.5.2.1.1 Grupo Serra Grande.....	32
2.5.2.1.2 Formação Pimenteiras.....	33
2.5.2.1.3 Formação Cabeças	33
2.5.2.1.4 Formação Longá.....	34
2.5.2.1.5 Formação Poti	34
2.5.2.2 A Bacia do Grajaú.....	34
2.5.2.2.1 Formação Mosquito	35
2.5.2.2.2 Formações Codó e Corda	35
2.5.2.2.3 Formação Pirabas	36
2.5.2.2.4 Formação Barreiras:.....	37
2.5.3 COBERTURAS CENOZÓICAS E RECENTES:.....	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4 ESTUDOS NAS FOLHAS COCAL E CHAVAL E REGIONALIZAÇÃO DE DADOS	42
4.1 A FOLHA COCAL	42
4.1.1. ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE RELEVO	43
4.1.2. ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM	46
4.2. COMPORTAMENTO DO RELEVO E DA DRENAGEM NA ÁREA LÍMITROFE CEARÁ-PIAUI-MARANHÃO	58
5 INTEGRANDO E REGIONALIZANDO DADOS.....	
5.1 GEOMORFOLOGIA.....	60
6 LEITURA SINTÉTICA DO CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL	65
7 O LEVANTAMENTO GEOFÍSICO (GRAVIMETRIA).....	67

7.1 ASPECTOS GERAIS	67
7.1.1. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	67
8 DISCUSSÃO DOS DADOS DA PESQUISA	72
9 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

A área de estudo desta pesquisa está localizada no centro-norte do Brasil, na região limítrofe dos estados do Maranhão – Piauí - Ceará. A mesma está inserida no contexto Geológico da Província Borborema, da borda do Cráton

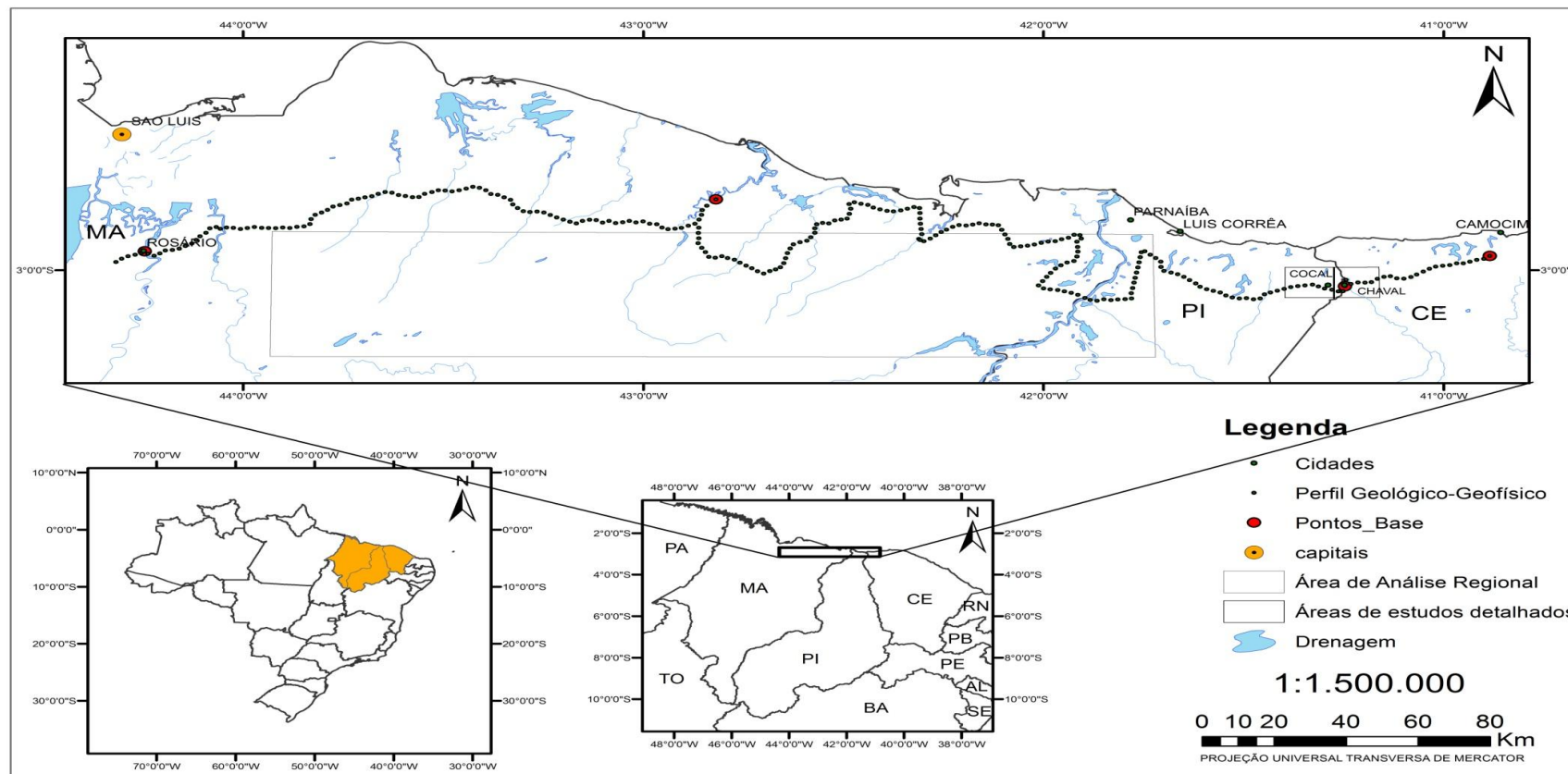
São Luís e da porção norte da Bacia do Parnaíba. A área de estudo terá como foco inicial a Folha Cocal (SA-24-Y-C-I), na escala de 1:100.000, localizada na região nordeste do Estado do Piauí. Em seguida passou-se para a integração com a folha Chaval (SA-24-Y-C-H), a qual havia sido objeto de estudos semelhantes àqueles realizados na folha Cocal. Por fim, partiu-se para uma análise de uma área maior, estendida para oeste, na qual foi realizado o perfil geológico-geofísico, entre Rosário-MA e Camocim-CE, necessário para alcançar um dos objetivos do trabalho, qual seja o de definir o limite leste do cráton São Luis.

Ao banco de dados existente foram associados, em ambiente SIG, outros dados e informações, tanto de campo, como de laboratório, configuradas fundamentalmente pela análise de produtos de aerolevantamentos e levantamentos de campo de dados gravimétricos. Estas informações permitiram avançar na modelagem geométrico-cinemática da área, importante para compreender a sua história evolutiva, destacando os condicionantes estruturais que possuem interesse para a história tectono-sedimentar do segmento norte da bacia do Parnaíba e das bacias mesocenozóicas.

1.1 Localização e acesso da área de trabalho

A área de estudo está localizada no centro-norte do Brasil, na região limítrofe dos estados do Maranhão – Piauí – Ceará (Figura 1). A área abrange desde a região de Rosário-MA, a sul de São Luis, continua no estado do Maranhão pelas cidades de Axixá e Barreirinhas, tendo por acesso a BR - 402. No Piauí, a região de Parnaíba também foi contemplada, utilizando-se a rodovia PI – 210, que alcança Chaval-CE e sai prolongando até Camocim – CE.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: do Autor

1.2 Objetivos

Contribuir com o conhecimento geológico-geofísico da área limite Cráton São Luis x Província Borborema x Bacia do Parnaíba, na região que abrange os estados do Ceará – Piauí – Maranhão.

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Sistematizar dados pré-existentes, especialmente aqueles gerados por docentes e discentes do Instituto de Geociências da UFPA que desenvolveram estudos na área de interesse dessa proposta de TCC;
- Agregar novos dados a partir de campanhas de campo em áreas de interesse da pesquisa;
- Gerar dados estruturais a partir da foto-análise de produtos de sensoriamento remoto;
- Realizar perfil geológico-geofísico de Camocim-CE à Rosário-MA (gravimetria), sobre unidades litoestruturais das províncias geotectônicas em consideração.
- Integrar e interpretar esse conjunto de dados com vistas a contribuir para o avanço do conhecimento geológico da área em apreciação;
- Construir mapas temáticos diversos e seções geológico-geofísicas sobre mapas geológicos pré-existentes como resultado dessa integração, com vista a contribuir ao conhecimento geológico regional;
- Elaborar texto explicativo sobre os mapas gerados, com informações geológicas, geomorfológicas e geofísicas que possam servir a múltiplas finalidades.

1.3 Justificativa

Ainda são poucos os estudos geológicos, mesmo de caráter regional, nessa região que encerra o contato entre o Cráton São Luis e a Província Borborema na região limítrofe Ceará-Piauí-Maranhão.

Sobre a região de contato entre essas duas províncias tectônicas, assentam-se, em geometria pouco conhecida, rochas sedimentares e ígneas da Bacia do Parnaíba de evolução fundamentalmente Paleozóica, recobertas por rochas do Mesozoico, principalmente do Cretáceo, e, em seguida, coberturas Cenozóicas, que alguns autores atribuem a denominação de Bacia do Grajaú.

As rochas do embasamento, tanto do Cráton São Luis, quanto da Província Borborema, se expõem em janelas erosivas em meio a essa cobertura sedimentar e são conhecidos, a oeste da área em discussão, afloramentos que revelam o contato entre essas duas entidades geotectônicas, na divisa Pará-Maranhão.

Os padrões comportamentais de elementos de relevo e drenagem, analisados inicialmente nas folhas Cocal e Chaval, mostram configurações que nos chamaram a atenção. Percebeu-se que as direções preferenciais da porção leste, marcadamente NE-SW, se juntaram a direções NW-SE e N-S, à proporção que se avança para oeste.

Isso foi o motivador para estendermos a área de estudo para oeste, utilizando estes elementos, através da análise de produtos de sensores, o que permitiu, mesmo em caráter precário, definir comportamentos distintos nos segmentos em consideração.

Assim, no intuito de avançar no estudo, programou-se a realização de seções geológico-geofísicas, na expectativa de levantar se teria esse comportamento dos elementos de relevo, e sobretudo de drenagem, relação com a distribuição dos litotipos das unidades geotectônicas em consideração e seus arranjos geométricos.

Dessa forma, o estudo inicialmente proposto para área restrita, terminou passando para uma área mais ampla, modificando inclusive seus objetivos iniciais, os quais também foram alargados.

Por fim, uma das justificativas principais para a realização desse tipo de estudo nessa área específica é a da importância que a mesma tem na prospecção atual de hidrocarbonetos, haja vista o interesse despertado por blocos de concessão para exploração destes bens, no último leilão da Agência Nacional do Petróleo - ANP, realizado em maio de 2013.

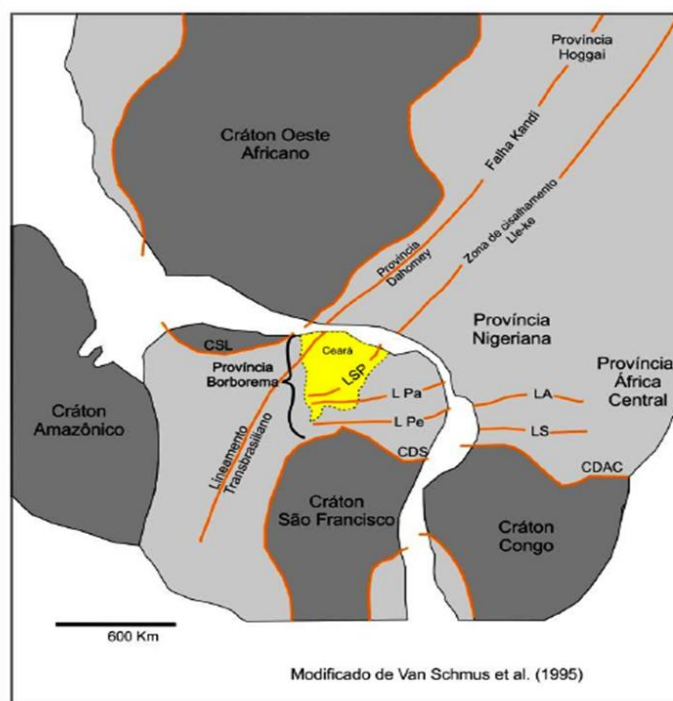
2 ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

Regionalmente, a área objeto desta pesquisa encerra conjunto litoestratigráfico-estrutural, pertencente a três entidades geotectônicas distintas, à saber: Cráton São Luis, Província Borborema e Bacia do Parnaíba-Grajaú, além das coberturas mais recentes de idade Cenozóica.

2.1 Cráton São Luis

O Cráton São Luis constituiu-se uma entidade geotectônica edificada ao final do Paleoproterozóico. Ele representa um fragmento de uma unidade bem maior, o Cráton Oeste Africano (Figura 02).

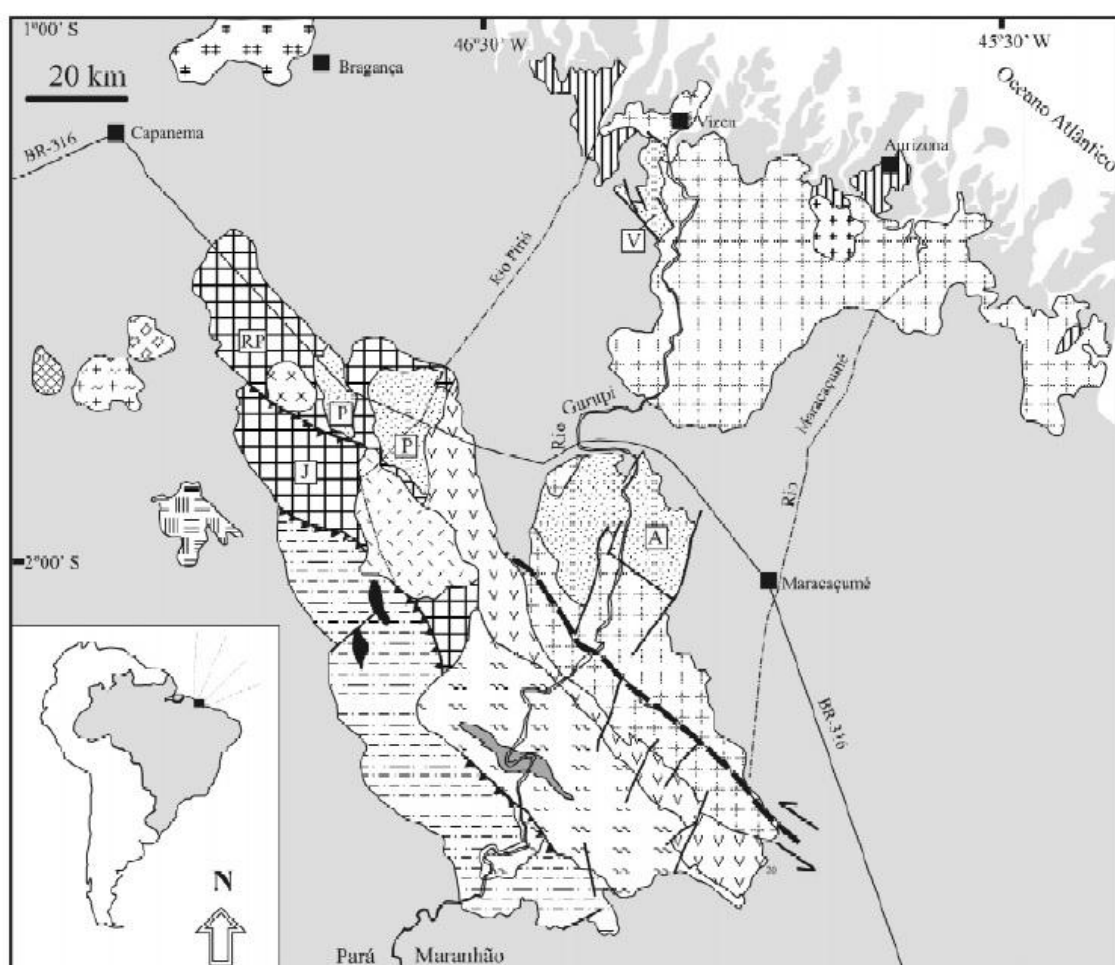
Figura 2: A fragmentação do Cráton Oeste Africano, gerando o Cráton São Luis, no final do Paleoproterozóico.



Fonte: Mabessone (2002).

Na borda do Cráton São Luís, o qual foi parcialmente regenerado geotectonicamente, estabeleceu-se, sobretudo no Neoproterozóico, intensa atividade geológica (magmatismo, retrabalhamento crustal e forte tectonismo) que se revela por exemplo, na janela estrutural que ocorre na região limítrofe Pará-Maranhão, no que se denomina região do Gurupí (Figura 3). Nela são encontradas unidades geológicas pertencentes ao domínio cratônico, bem como da faixa de dobramentos que lhe é adjacente (ABREU, 1990). Rochas pertencentes ao cráton também estão expostas nas pedreiras de Rosário-MA.

Figura 3: Contexto geológico do Cinturão do Gurupí e do Cráton São Luis.



Fonte: Klein et. al. (2005).

A borda do Cráton desenha uma configuração em arco com convexidade voltada para sul que se estende desde as proximidades de Belém-PA até os alinhamentos NE do Rio Parnaíba, na sua chegada ao mar, no Estado do Piauí. A região cratônica possui uma organização espacial das unidades

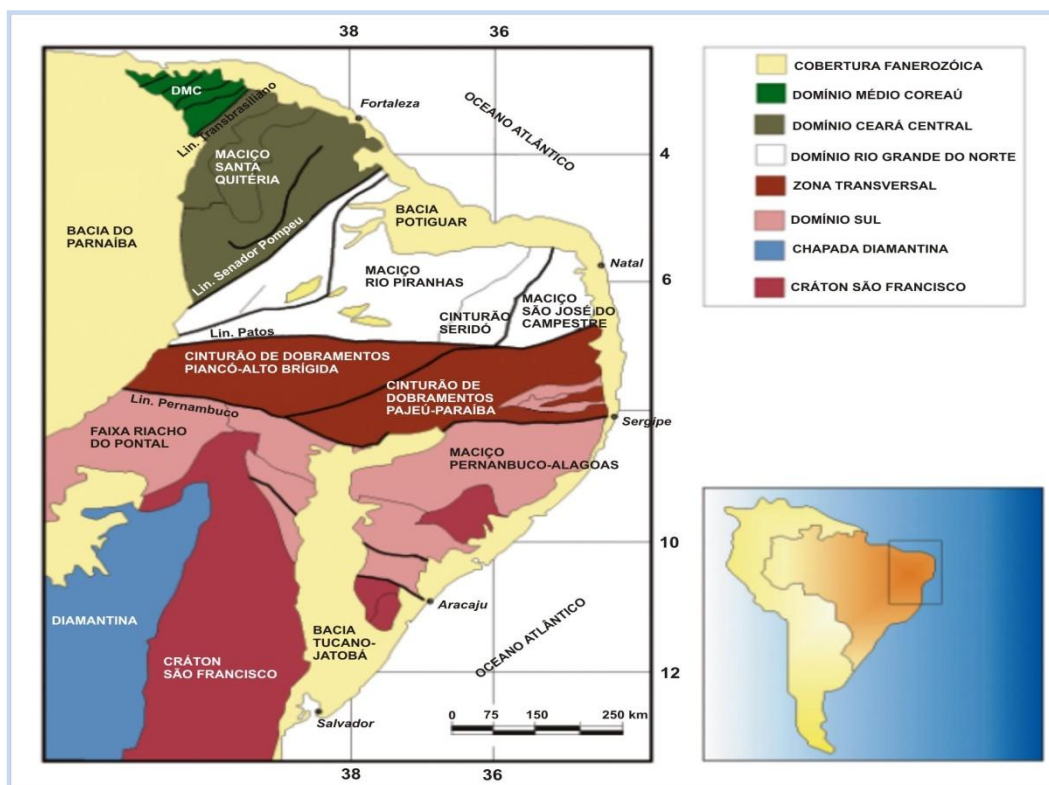
litoestratigráficas, zonas de cisalhamento e falhas orientadas NNE-SSW, em contraste com uma organização NW-SE na borda SW do cráton que se torna E-W ao sul do mesmo e NE na porção mais oriental.

Durante o retrabalhamento, a borda pretérita do Cráton São Luis sofreu reconfigurações que lhe proporcionaram uma geometria que deve ter influenciado, nessa área, as condições de deposição dos sedimentos que iniciam a constituição da coluna litoestratigráfica do Paleozóico, na Bacia do Parnaíba, representada pelo Grupo Serra Grande.

2.2 Província Borborema

A Província Borborema (PB) está localizada no nordeste do Brasil e representa uma área de cerca de 450.000 km², abrangendo os estados do Maranhão, Piauí e principalmente Ceará, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco e a Porção Norte da Bahia. (Figura 4).

Figura 4: Domínios da PB segundo Britto Neves et al. (2001) .



Fonte: Modificado de Santos et al. (2004).

O conceito de Província Borborema foi introduzido por Almeida et al. (1977) para a porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, representando uma área onde ocorrem diversos fenômenos termiais, tectônicos e magmáticos, do Neoproterozóico Superior ao Cambro-Ordoviciano.

Os litotipos que a constituem são basicamente gnaisses e migmatitos, que formam o embasamento, sequências supracrustais deformadas e metamorfisadas e plutões graníticos brasileiros (BIZZI et al.,2003).

Segundo Britto Neves et al. (2000), as estruturas e os litotipos da província desenvolveram-se durante a evolução de dois diferentes ciclos tectônicos: a Orogenia Cariris Velhos do (Esteniano (1200 M.a) ao Toniano (800 M.a) e a Orogenia Brasileira (Ediacarano), a qual herdou trends estruturais e crosta retrabalhada, formada durante o início da Orogenia Cariris Velhos.

Na área em apreciação, rochas pertencentes ao Domínio Médio Coreáú da PB afloram na área das folhas Cocal e Chaval e são representadas por granitóides, gnáisses de diversas composições, além de quartzitos, xistos e mármore.

2.3 A Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba apresenta formato poligonal, com diâmetro máximo aproximado de 1000 km alongado na direção NE-SW. Em seu depocentro atual, a espessura total do pacote litológico alcança cerca de 3500 m, porém espessuras bem maiores podem ocorrer em grábens mais antigos, proterozóicos e cambro-ordovicianos; sendo assim, a espessura de 3500 m é relativa à bacia, que se desenvolveu a partir do Siluriano (GÓES; COIMBRA 1996). Segundo Cunha (1986) a pequena espessura e ampla distribuição dos sedimentos são atribuídas a uma lenta subsidência ao longo do tempo geológico.

Esta bacia se encontra encaixada nos denominados escudos cristalinos do Pré-Cambriano. As bordas da bacia são melhor delineadas a leste, sul e

oeste, e a sobreposição dos seus sedimentos ao embasamento pré-Siluriano pode ser ali observada. O limite noroeste, com a bacia sedimentar Amazônica oculta-se sob a cobertura sedimentar mesozóica, sendo sua evolução caracterizada a partir de ciclos de sedimentação em ambiente marinho no Paleozóico e em ambiente deltáico a continental no Mesozóico (Figura 5)

Figura 5: A Bacia do Parnaíba, contextualizada no mapa da América do Sul.



Fonte: Santos et al. (2004).

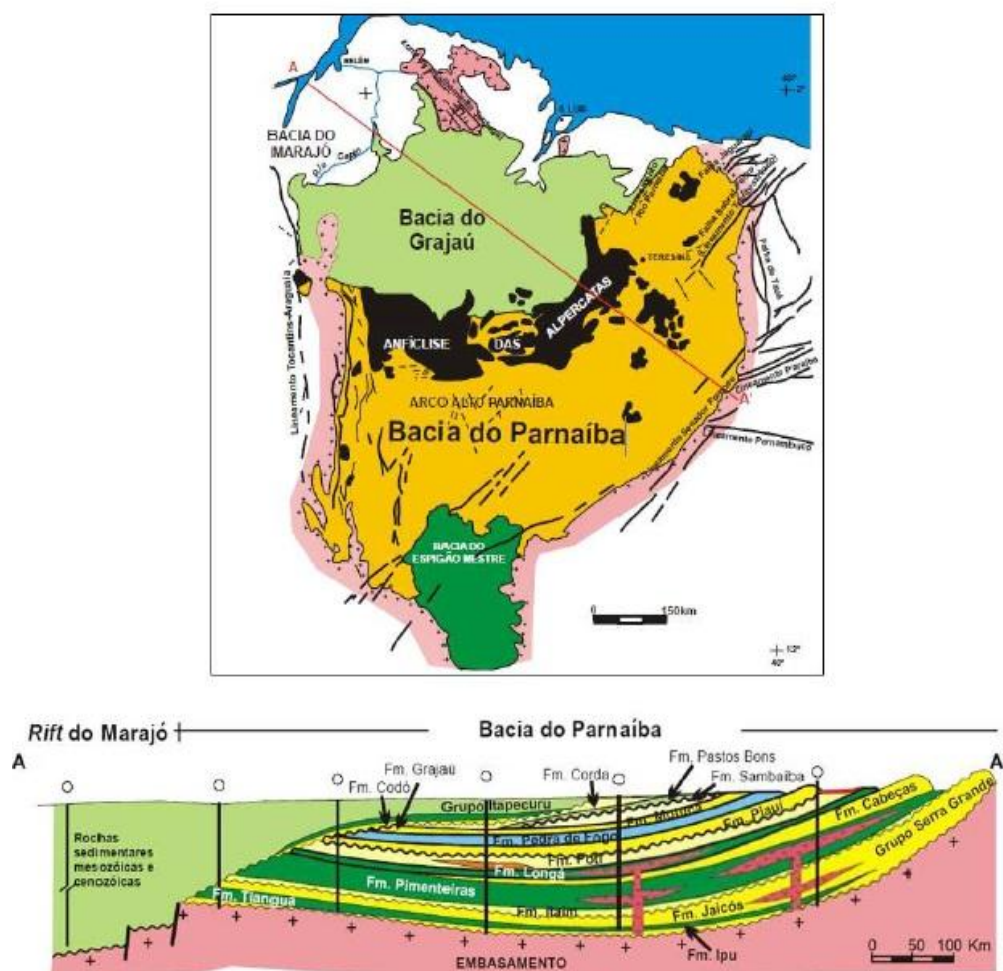
Representa-se topograficamente por estratos paralelos a inclinados, em função de soerguimentos epirogenéticos bem expressivos em sua borda oriental. O relevo é constituído de formas tabulares, passando pelos planos horizontais das chapadas, tabuleiros e colinas maranhenses, seguidos pela planície litorânea que se estende até a costa do Atlântico.

Os processos atuantes nos domínios morfoestruturais resultam da interação entre a litoestrutura e os agentes erosivos-deposicionais ou intempéricos que atuam em ciclos de denudação. As consequências da ação da tectônica no desenho do relevo são expressivas, movimentando e recortando superfícies de aplainamento.

2.4 As coberturas Meso-Cenozóicas

Superposta à Bacia do Parnaíba, a partir da Reativação Wealdeniana, que culminou na fragmentação e separação do Gondwana, se implantou a Bacia do Grajaú, localizada a norte da Bacia das Alpercatas, separada da Bacia de São Luís pelo Arco Ferrer–Urbano Santos, o qual não exerce influência alguma sobre a continuidade da sedimentação entre as duas bacias (GÓES; ROSSETTI, 2001). A Bacia do Grajaú é preenchida pela Supersequência Cretácea, que compreende as formações Codó, Grajaú e o Grupo Itapecuru (Unidade Indiferenciada, formações Alcântara e Cujupe; (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1997). Esta bacia é marcada também por evento de magmatismo básico presente na parte centro-sul da Figura 6, a qual recebeu a sedimentação meso-cenozóica.

Figura 6: Bacias do Meio Norte do Brasil, incluindo a Bacia do Parnaíba e seção NW-SE com as principais unidades estratigráficas.



Fonte: Góes e Coimbra (1996 apud CAPUTO et al., 2005).

A evolução geotectônica que permitiu a implantação da Bacia do Grajaú, prenunciada pelo evento vulcânico Mosquito, foi responsável pelo desenvolvimento de coberturas sedimentares, a partir do Mesozóico com ingressões marinhas registradas em vários pontos, com destaque para a Formação Pirabas, na região litorânea e as formações Codó e Corda na parte mais continental. A elas se seguiram as coberturas cenozóicas que estão registradas principalmente na região mais próxima ao litoral.

2.5 Litoestratigrafia

Uma breve descrição da organização litoestratigráfica, tendo por base a coluna estratigráfica da região, pode ser evidenciada na figura 7.

2.5.1 EMBASAMENTO

As rochas mais antigas que compõem o embasamento regional, na área em consideração, são encontradas em duas áreas: a) na região de Rosário – Pedrinhas-MA onde afloram tonalitos e granodioritos que podem ser encaixados na Suite Tromai; b) na parte leste da região de trabalho, onde ocorrem os litotipos pertencentes ao Domínio Médio Coreaú-DMC da PB, na região de Granja-CE.

No primeiro caso estão descritos os granitóides tipo Chaval e Migmatitos Híbridos, pertencentes a Unidade “C” do Pré- Cambriano, segundo a cartografia apresentada pelo Projeto Jaibaras (1973). Nas propostas cartográficas mais recentes de divisão da Província Borborema, estas unidades estariam inseridas no Domínio Médio Coreaú – DMC, cuja evolução principal deu-se durante o Proterozóico Inferior, no intervalo 2,3 – 2.1 Ga. e que sofreu retabalhamento importante ao curso do Evento Panafricano – Brasileiro, entre 0.6 e 0.5 Ga.

O DMC localiza-se na porção noroeste do estado do Ceará e nordeste do estado do Piauí. Corresponde ao segmento situado entre a margem retrabalhada do Cráton São Luis - África Ocidental, à oeste, e o Lineamento Transbrasiliano (BRITO NEVES et al. 2000) a leste, o qual também funciona como limite que o separa do Domínio Ceará Central. Compreende o cinturão noroeste do Ceará que constituem fatias crustais limitadas por zonas de cisalhamento transcorrente-transpressivas, de direção geral NE-SW (ABREU et al. 1988).

2.5.1.1 Suíte Rosário

A Suíte Rosário ocorre em uma janela erosiva relativamente extensa, com cerca de 400 km, situada no interflúvio Mearim-Munim, cuja dimensão total não pôde ser avaliada devido às coberturas fanerozóicas. Compreende um conjunto de plútons que variam composicionalmente desde tonalitos e granodioritos, os quais são as rochas mais abundantes da suíte, até quartzodioritos, monzogranitos e leucotonalitos, em proporções volumetricamente menores. Pegmatitos e aplitos ocorrem como veios, recortando principalmente as rochas tonalíticas. Elas encontram-se afetadas por zonas de cisalhamento que imprimiram um metamorfismo em condições da fácies xisto verde, metamorfismo hidrotermal de cisalhamento.(GORAYEB et al. 1999)

2.5.1.2 Complexo Granja

O Complexo Granja (NASCIMENTO et al. 1981) corresponde a uma das unidades mais antigas da província Borborema, considerando embasamento da faixa Martinópole – Ubajara. É composto por ortognaisses TTG, gnaisses kinzigíticos, granulitos (ortoderivados e paraderivados) e migmatitos bandados e dobrados. De acordo com Abreu e Gorayeb (1996), os gnaisses do Complexo Granja, correspondem a rochas da crosta inferior alçadas por cavalgamento

2.5.1.3 Grupo Martinópole

De acordo com Oliveira (1992), O Grupo Martinópole é composto por quartzo-pirofilita, xistos, quartzo-clorita-muscovita xistos, com pequenas intercalações de muscovita xistos. O Grupo Martinópole compreende duas unidades litoestratigráficas distintas, a Formação Covão e a Formação Santa Terezinha.

2.5.1.4 Granitóide Chaval

É uma fácies do Pré-Cambriano “C” que ocorre conspicuamente na região de Chaval, com formas de relevo peculiares com grandes inselberges e se estendem em direção sudoeste ao longo da falha Santa Rosa, penetrando na Folha Chaval, onde constitui o assoalho de deposição da Formação Serra Grande. O limite norte de sua área aflorante, acompanha os caprichosos recortes dos tabuleiros das Coberturas Cenozóicas.

Do ponto de vista genético, a unidade corresponde aos granitóides porfiróides metassomáticos tão comuns no Pré-Cambriano no Nordeste, resultantes da maximização dos processos de migmatização e homogeneização, que atuaram neste bloco do embasamento.

2.5.2 - Coberturas

Recobrando esses litotipos, tem lugar os processos deposicionais que resultaram na formação da Bacia do Parnaíba, uma bacia paleozóica composta pelos Grupos Serra Grande, Formação Pimenteiras, Formação Cabeças, Formação Longá, Formação Poti. No Mesozóico, prenunciada pelos produtos da Reativação Wealdeniana, representadas na região pela Formação Mosquito, desenvolve-se, sobreposta à bacia paleozóica, a Bacia Cenozóica do Grajaú onde pontuam a Formação Pirabas, o Grupo Barreiras e mais recentemente os aluviões, relacionadas à rede de drenagem atual.

2.5.2.1 A Bacia do Parnaíba

Expostas principalmente na porção centro-sul da região de estudo, estão presentes rochas que pertencem às diversas unidades litoestratigráficas que compõem o enchimento da Bacia do Parnaíba, conforme descrito a seguir.

2.5.2.1.1 Grupo Serra Grande

Originalmente definido por Small (1914) como Série, foi caracterizado como Grupo por Kegel (1953). Este grupo é composto pelas Formações Ipu, Tianguá e Jaicós (CAPUTO; LIMA, 1984) e data do Siluriano, estando assentado discordantemente sobre o embasamento cristalino ou sobre as Formações Riachão e Mirador. Estima-se que sua espessura seja superior a 900 m, na porção leste da bacia.

A Formação Ipu Descrita por Campbell (1949) é composta por arenitos médios a grossos, conglomerados com matriz areno-argilosa e matacões de quartzo ou quartzitos, arenitos finos a grossos de coloração creme-amarelada, maciços ou com estratificação cruzada, e, mais raramente, siltito, folhelho e diamictito, sendo esta Formação afossilífera. As rochas desta unidade foram depositadas por sistemas fluviais anastomosados com influência periglacial, incluindo leques ou frentes deltaicos (CAPUTO, 1984). De idade Llandoveryano (Eossiluriano), apresenta até 300 m de espessura na porção nordeste da bacia.

Já a Formação Tianguá é constituída basicamente por folhelho cinza-escuro, siltito e arenito muito micáceo, depositados em ambiente marinho de plataforma rasa (GÓES; FEIJÓ, 1994) e com idade Venlockiano (Eossiluriano), de acordo com seu conteúdo palinológico. Caputo e Lima (1984) dividem esta unidade em três membros: folhelhos pretos a cinza escuros; arenito com intercalações de folhelho; e folhelho intercalado com siltitos. Esta unidade encontra-se sobreposta concordantemente à Formação Ipu, e em subsuperfície pode atingir até 270 m de espessura.

A Formação Jaicós foi descrita por Plummer (1946) possui espessura estimada em mais de 400 m e é caracterizada por arenitos cinza com tonalidades claras, creme ou amarronzada, médios a grossos, mal selecionados, maciços ou com estratificação cruzada ou lenticular (Caputo, 1984), a qual se encontra sobreposta concordantemente à Formação Tianguá e sotoposta discordantemente à unidade basal do Grupo Canindé. Góes e Feijó (1994) interpretam que a sedimentação desta Formação se deu em sistemas fluviais entrelaçados, evidenciando caráter regressivo, durante o

Neossiluriano (Ludloviano), idade que está de acordo com a descrição de microfósseis da unidade feita por Grahn (1992).

2.5.2.1.2 Formação Pimenteiras

Designa espessas camadas de folhelhos cinza-escuros a pretos, esverdeados, em parte bioturbados, radioativos, ricos em matéria orgânica, que representam a ingressão marinha mais importante da bacia (VAZ et. al., 2007), podendo ocorrer intercaladas camadas de siltito e arenito grosso e até conglomerático, com estratificação hummocky, os quais portam fácies tempestíticas, sendo as rochas desta unidade interpretadas como depositadas em ambiente nerítico de plataforma dominada por tempestades (DELLA FÁVERA, 1990), de idade Givetiana-Frasniana. Caputo e Lima (1984) estima espessuras superiores a 500 m na porção centro-noroeste da bacia. Young (2003) descreve ainda, potencial gerador e potenciais rochas-reservatório para esta seção.

2.5.2.1.3 Formação Cabeças

De idade Givetiana-Frasniana, é composta predominantemente por arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltito e folhelho, interpretados como de ambiente nerítico-plataformal, dominado por corrente de maré (DELLA FÁVERA, 1982; FREITAS, 1990 apud GÓES E FEIJÓ, 1994), além de eventual influência periglacial, registrada pela presença de diamictitos na parte superior da formação. Estratificação cruzada tabular e feições de lobos sigmoidais ou sigmóides predominam, e tempestitos estão presentes na transição para a Formação Pimenteiras. Ocorrem ainda arenitos finos a médios, associados a arenito grosso, depositados em ambiente fluvial-estuarino, também com influência periglacial, segundo Fortes (1990). Sua espessura é estimada entre 100 e 400 m, com espessamento para leste da bacia (CAPUTO e LIMA, 1984).

2.5.2.1.4 Formação Longá

É caracterizada por folhelhos cinza-escuros a pretos, em parte arroxeados, homogêneos ou bem laminados e bioturbados, siltito cinza-claro e arenito branco, fino e argiloso, interpretados por Góes e Feijó (1994) como depositados em ambiente nerítico plataformal, dominado por tempestades, durante o Fameniano (Neodevoniano). Caputo e Lima (1984) descreve esta formação como composta por três unidades, da base para o topo, respectivamente por folhelho, arenito fino a conglomerático e folhelho intercalado com siltito, evidenciando, segundo Della Fávera (1990), uma sequência transgressivo-regressiva. Estima-se uma espessura máxima de sedimentos na ordem de 150 m, nas porções centro-noroeste e leste da bacia.

2.5.2.1.5 Formação Poti

Pode ser dividida, segundo Lima e Leite (1978), em duas porções. A inferior constituída por arenitos cinza-esbranquiçados, médios, com lâminas dispersas de siltito cinza-claro, e a superior composta de arenitos cinza, lâminas de siltitos e folhelhos com eventuais níveis de carvão. Estruturas como marcas onduladas e acamamentos *wavy* e *linsen* são observadas nos arenitos e siltitos (CUNHA, 1986). As rochas desta unidade foram depositadas em deltas e planícies de maré, sob a influência ocasional de tempestades (GÓES e FEIJÓ, 1994), durante o Tournaisiano (Eocarbonífero). O contato superior com a Formação Piauí (base do Grupo Balsas) é discordante erosivo. A espessura dos sedimentos Poti é estimada em mais de 300 m.

2.5.2.2 A Bacia do Grajaú

Superposta à Bacia do Parnaíba, a partir da Reativação Wealdeniana, que culminou na fragmentação e separação do Gondwana, se implantou a Bacia do Grajaú, localizada a norte da Bacia das Alpercatas, separada da Bacia de São Luís pelo Arco Ferrer–Urbano Santos, o qual não exerce influência alguma sobre a continuidade da sedimentação entre as duas bacias

(GÓES et al. 2001). A Bacia do Grajaú é preenchida pela Supersequência Cretácea, que compreende as formações Codó-Corda, Grajaú e o Grupo Itapecuru (Unidade Indiferenciada, formações Alcântara e Cujupe) (ROSSETTI e TRUCKENBRODT, 1997) e pela sequência Neógena Pirábas - Barreiras. Esta bacia é marcada também por evento de magmatismo básico presente na parte centro-sul da região de estudo, a qual recebeu a sedimentação meso-cenozóica a seguir descrita.

2.5.2.2.1 Formação Mosquito

Termo proposto por Aguiar (1971), o qual designa basalto preto, amigdaloidal, toleítico, sob a forma de grandes derrames e soleiras, eventualmente intercalado a arenito vermelho com leitos de sílex (GÓES e FEIJÓ, 1994). Os sedimentos intercalados indicam deposição em sistemas eólicos e lacustres, de paleoclima quente e árido (CAPUTO e LIMA, 1984). Alguns autores consideram estes arenitos como pertencentes à Formação Sambaíba.

2.5.2.2.2 Formações Codó e Corda

A Formação Codó consiste de folhelhos, calcários e evaporitos, em sucessões raseantes para cima (PAZ E ROSSETTI, 2001) e está em contato interdigitado e em *onlap* com a Formação Grajaú de ambiente costeiro. Próximo ao contato entre as formações Corda e Grajaú, ocorrem, nesta última, tapetes algais, indicando o seu ambiente costeiro.

A Formação Corda foi descrita pela primeira vez por Lisboa (1914) sendo ainda chamadas de “Arenito Corda”, referindo-se aos sedimentos arenosos e vermelhos que ocorrem próximos às eruptivas básicas do alto Mearim e dos seus tributários no Estado do Maranhão. Campbell, Almeida & Silva (1949 apud PAZ; ROSSETTI, 2001), foram os que passaram a designar estes arenitos de Formação Corda. A Formação Corda assenta-se discordantemente sobre os basaltos da Formação Mosquito e arenitos da

Formação Sambaíba. Seu contato superior, mantido com a Formação Itapecuru, é geralmente concordante, podendo localmente ser discordante.

2.5.2.2.3 Formação Pirabas

A Formação Pirabas (MAURY, 1925) é uma das unidades geológicas do cenozóico marinho brasileiras mais estudadas no norte e nordeste do Brasil, principalmente sob o ponto de vista bioestratigráfico. A ocorrência de alguns fósseis guias, principalmente o molusco gastrópode *Orthaulax pugnax* e o foraminífero planctônico *Globigerinoides*, posicionam temporalmente a Formação Pirabas no Mioceno inferior (MAURY 1925; FERREIRA 1966; FERREIRA ET AL 1978; FERNANDES 1984). O ambiente deposicional desta unidade tem sido interpretado como plataforma carbonática marinha rasa e, secundariamente, em lagunas e mangues, estando submetida em determinados períodos à ação de ondas de tempestade (GÓES et al. 1990).

Góes et al. (1990), com base em análise litofaciológica identificou sete fácies descritivas: biocalcirruditos (com grande variedade faunística), calcarenitos não estratificados (ou com estratificação cruzada incipiente e fósseis esparsos), calcarenitos estratificados (fósseis fragmentados), margas (restos vegetais e peixes), folhelhos verdes (restos vegetais), biohermitos (corais) e calcilutitos (raros fósseis).

Segundo esses mesmos autores, subsequente ao evento deposicional da Formação Pirabas, predominantemente transgressivo e oscilatório, predominou a sedimentação de outra sequência, regressiva e siliciclástica, na qual foi depositada a Formação Barreiras, cujas estruturas sedimentares e conteúdo palinológico típico do Mesomioceno indicam certa contemporaneidade e gradação entre as sequências Pirabas e Barreiras.

2.5.2.2.4 Formação Barreiras:

Por longo tempo a Formação Barreiras foi considerada como genericamente não relacionada à Formação Pirabas, sendo o termo Formação Barreiras utilizado para o conjunto sedimentar superposto, caracterizado genericamente por depósitos siliciclásticos de cores variegadas (SÁ, 1969).

Esta unidade foi por muito tempo atribuída ao Plioceno/Pleistoceno, por correlação com depósitos homônimos que ocorrem no nordeste brasileiro (MUSSA, 1958; AMADOR, 1982). Entretanto, informações palinológicas possibilitaram constatar que a deposição desta unidade foi mais antiga, tendo ocorrido, pelo menos em grande parte, no Mioceno Médio (ARAI et al., 1988; ARAI, 1997; LEITE et al., 1997).

Estes dados juntados com informações faciológicas, permitiram inferir ainda, influência marinha na deposição dos litótipos da formação Barreiras (ROSETTI et al., 1990), o que levou à sugestão de interdigitação desta com a Formação Pirabas (ARAI et al., 1988; GÓES et al., 1990). A Formação Barreiras forma uma sucessão geneticamente relacionada com a formação Pirabas, ligada ao desenvolvimento de um mesmo trato de sistema, que resultou na gradação de estratos carbonáticos-siliciclásticos ao longo da evolução miocênica.

As fácies da Formação Barreiras são do tipo siliciclásticas e consistem em arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e, menos comumente, conglomerados de coloração negra, verde oliva, cinza ou, ainda, variegada. Embora carente em fósseis, a sucessão miocênica siliciclástica em questão mostra-se bastante rica em icnofósseis, que se constituem em elementos auxiliares na caracterização paleoambiental (ROSETTI et al., 1990).

2.5.3 COBERTURAS CENOZÓICAS E RECENTES:

Os depósitos quaternários são originados por processos de intemperismo e transporte de curta a média distância, com ou sem ação de corrente canalizada. Constituem coberturas inconsolidadas formadas por depósitos eluviais, coluviais e aluviais, distribuídos ao longo de topos, encostas e vales.

Nesta perspectiva, os campos de dunas móveis e fixas do litoral do estado do Maranhão e estendendo-se até o Ceará, (onde está presente a faixa de estudo, da Rosário - MA até a cidade de Camocim-CE), representam um dos mais importantes registros de mudanças eustáticas e climáticas ocorridas ao longo do Quaternário no Brasil.

Figura 7: Coluna Litoestratigráfica da Região estudada.

Éon	Era	Período	Idade (Ma)	Unidades Litoestratigráficas	Descrição
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	2,58	Coberturas Cenozóicas e Recentes	Depósitos arenosos, argilosos e lateríticos.
		Neógeno		Formação Barreiras	Arenito cinza-claro a avermelhado, médio a grosso.
				Formação Pirabas	Calcários creme claro, moles,ossilíferos, associados a folhelhos vermelhos a cinza-esverdeados, normalmente lenticulares.
	Mesozóico	Jurássico	23,0	Formações Codó-Corda	Folhelhos, calcários e evaporitos; sedimentos arenosos avermelhados.
				Formação Mosquito	Basalto preto, amigdaloidal, toleítico
	Paleozóico	Carbonífero	300	Formação Poti	Arenitos cinza-esbranquiçados, médios, com lâmina dispersa de siltito cinza-claro; arenitos cinza, com lamina de siltito e eventuais níveis de carvão.
				Devoniano	360
		Formação Cabeças	Arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos.		
		Formação Pimenteiras	Folhelhos cinza-escuros a pretos, esverdeados, em parte bioturbados, radioativos, ricos em matéria orgânica.		
		Siluriano	415		
				443	Suíte Rosário/ rochas paleoproterozóicas do DMC
	Proterozóico	Paleo-proterozóico	Riáciano		

*DMC = Domínio Médio Coreau

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Diferentes materiais e métodos foram utilizados neste estudo. Para o tratamento dos produtos sensores, de forma principal as imagens de satélites, foram utilizados vários softwares. Entre eles se destacam o ArcGis 10.1, utilizado para a vetorização dos dados; CorelDRAW 5.0, utilizado para a edição de imagens; Global Mapper 13 para a transformação e geração de dados em vários tipos de formato; Google Earth, consultado para a atualização dos dados; ENVI para o tratamento mais refinado das imagens; Open Stereo, para a geração de rosáceas. Para a análise da parte geofísica, foram utilizados softwares como Surfer 7.0 e Bougeur2.

Os dados e informações constantes em Relatórios e principalmente nos mapas geológicos dos estágios de campo realizados (Projetos Cocal, Granja e Coreaú ; Mapas das dissertações e teses realizadas na folhas Cocal, Chaval e adjacências (GAMA JUNIOR, 1992), entre outros; Mapas e relatórios provenientes do projeto Jaibaras da CPRM (1973), foram trazidos do meio analógico para o meio digital através da digitalização de mapas e perfis geológicos e a atualização de banco de dados de forma quantitativa e qualitativa.

A análise e a interpretação de produtos sensores relativos às folhas mencionadas, principalmente do SRTM e do LANDSAT, estendendo-se para oeste até a divisa PI-CE e PI-MA. foi realizada tendo por base a metodologia Lógica e Sistemática de Soares e Fiori (1976) e de interpretação de dados de aerolevantamentos aplicados em geologia de Veneziani e Dos Anjos (1982). Neste procedimento são destacados elementos de relevo e de drenagem e enfatizadas as relações de contato principalmente entre as unidades geotectônicas regionais.

As técnicas de coleta de elementos de relevo e de drenagem, bem como o tratamento estatístico dos mesmos, que foram realizados utilizando-se a construção e a interpretação de rosáceas, terão por base os pressupostos comuns aos trabalhos de análise estrutural geométrica e cinemática constantes em Turner & Weiss (1963), Hobbs et al.(1976), Ramsay (1967), Twiss e Moores (1992), Passhier & Trouw (2002), Fossen (2012), entre outros.

Os dados gravimétricos foram coletados com um gravímetro Lacost & Romberg, da Faculdade Geofísica. O tratamento desses dados seguiu os procedimentos metodológicos demandados pelo software Bouguer2, para a correção gravimétrica dos dados; além do Software Surfer, para a confecção do mapa gravimétrico. A interpretação dos produtos gerados foi realizada por meio de modelagem usando o programa computacional Gmulti (desenvolvida pelo professor João Batista Corrêa da Silva, do programa de pós-graduação em Geofísica da UFPa), visando estabelecer modelos da subsuperfície que permitam visualizar a geometria das unidades geológicas e principalmente a marcação da borda do Cráton São Luis. Estas informações permitiram a composição de uma síntese sobre o conhecimento geológico regional e uma primeira organização litoestrutural da área de trabalho.

O perfil geofísico foi realizado entre as cidades de Rosário – MA e Camocim – CE, com cerca de 590 km de extensão e com um total de 295 estações para a coleta de dados gravimétricos.

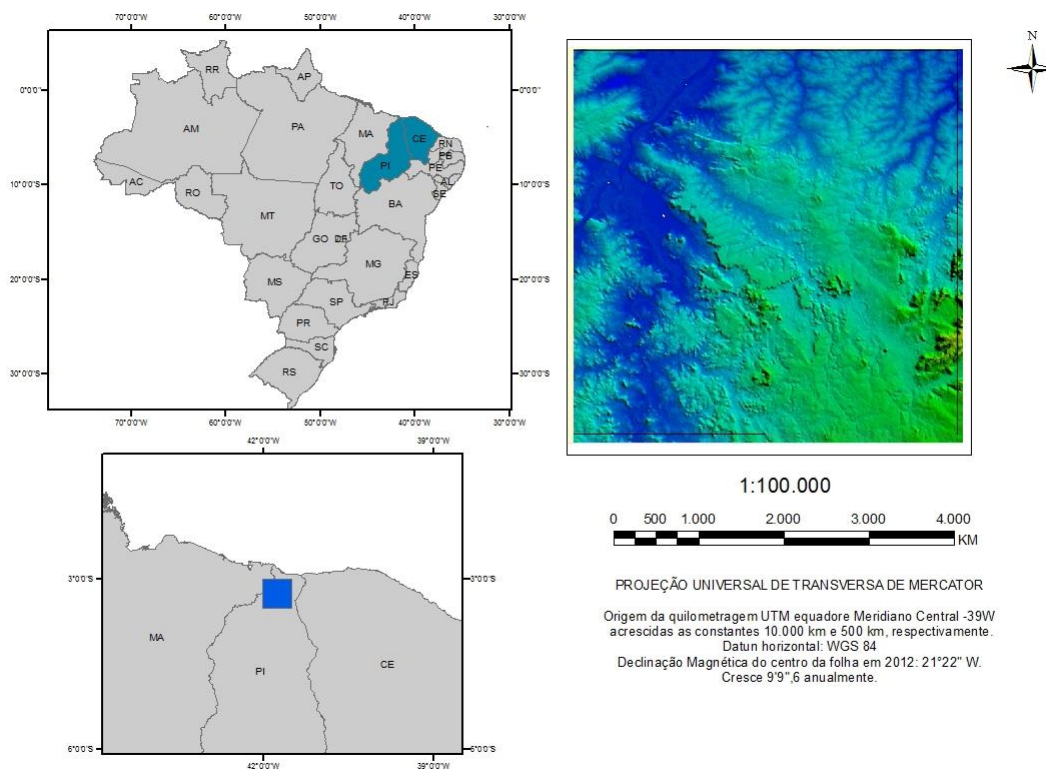
Foram utilizados na realização do trabalho as facilidades e materiais disponíveis no Laboratório de Cartografia Geológica – GEOCART, tais como computadores, e os softwares ArcGIS e ENVI.

4 ESTUDOS NAS FOLHAS COCAL E CHAVAL E REGIONALIZAÇÃO DE DADOS

Os estudos advindos desta pesquisa serão apresentados compreendendo dois recortes. No primeiro caso tratar-se-á da área restrita da Folha Cocal, onde o autor realizou trabalho de forma detalhada (Figura 8). Em seguida se fará uma abordagem mais genérica, envolvendo o espaço mais amplo, no qual se insere a análise de dados da folha Chaval, tratada por Medeiros (2011), metodologicamente de forma semelhante aos estudos da Folha Cocal. Isso permite uma generalização do comportamento dos elementos de relevo e de drenagem para um espaço mais amplo, no sentido oeste, na qual se posiciona a seção geológico-geofísica realizada entre Rosário-MA e Camocim-CE.

4.1 A Folha Cocal

Figura 8: Mapa de localização da Folha Cocal (SA.24-Y-C-I).



Fonte: Do Autor.

Especificamente na Folha Cocal a composição e a interpretação do comportamento dos elementos de relevo e drenagem, são a seguir descritos.

4.1.1. ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE RELEVO

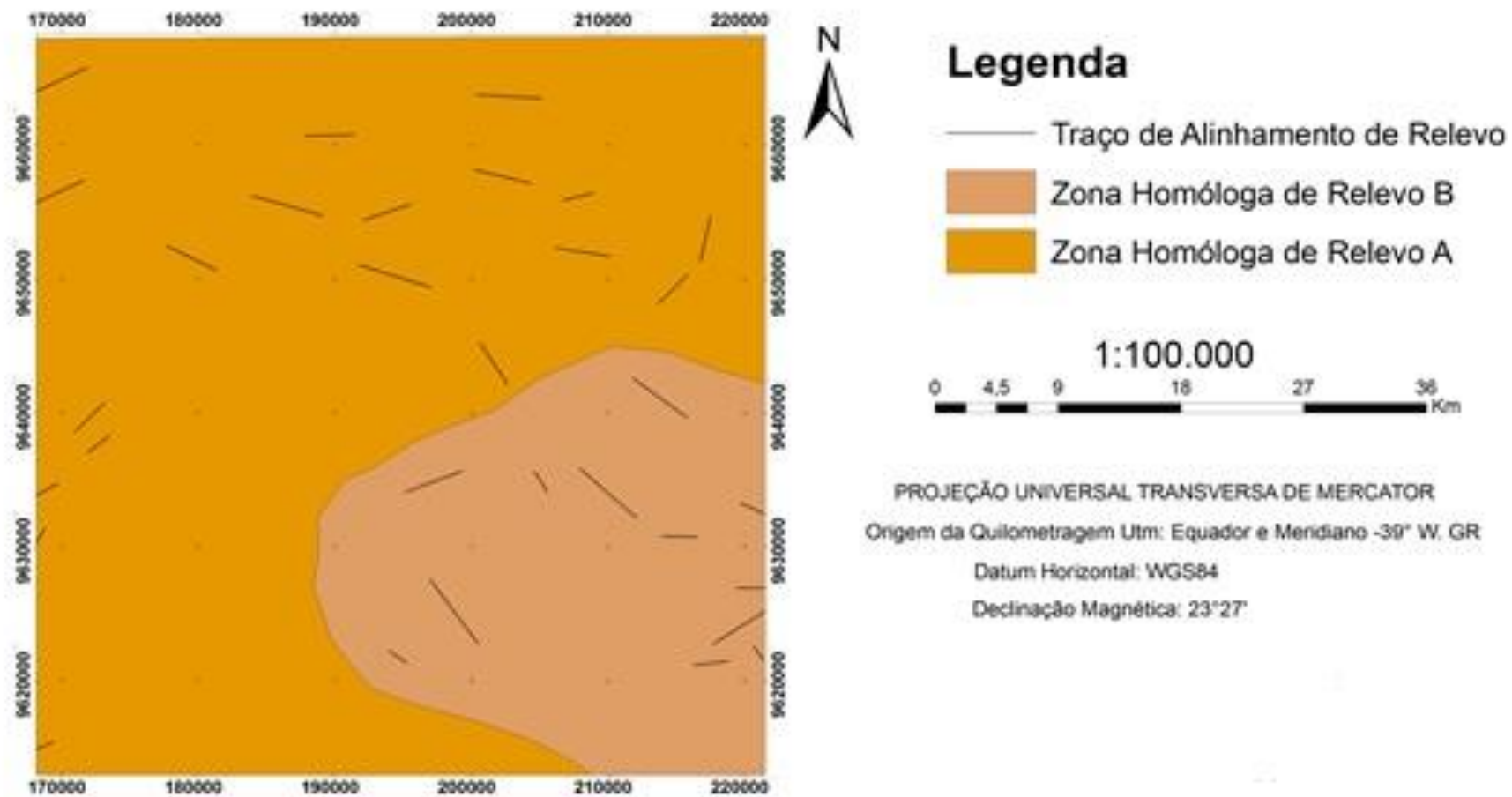
O estudo e a determinação das zonas homólogas de relevo da folha foram realizados aplicando-se a metodologia de Soares e Fiori (1976). Esta metodologia tem como base a análise de aspectos de textura e estrutura de forma particular.

Ao se analisar as formas de relevo, os elementos fundamentais a serem observados são as rupturas de declive, que nada mais são que variações bruscas na superfície do terreno, posto que elas definem os elementos texturais de relevo.

As principais propriedades de texturas e estruturas de relevo são: densidade de textura de relevo, quebra positiva, quebra negativa, assimetria de relevo, lineações de relevo, alinhamento de relevo e as formas de encostas.

Determinaram-se as zonas homólogas de relevo segundo os fatores litológicos, morfogenéticos e deformacionais. (Figura 9).

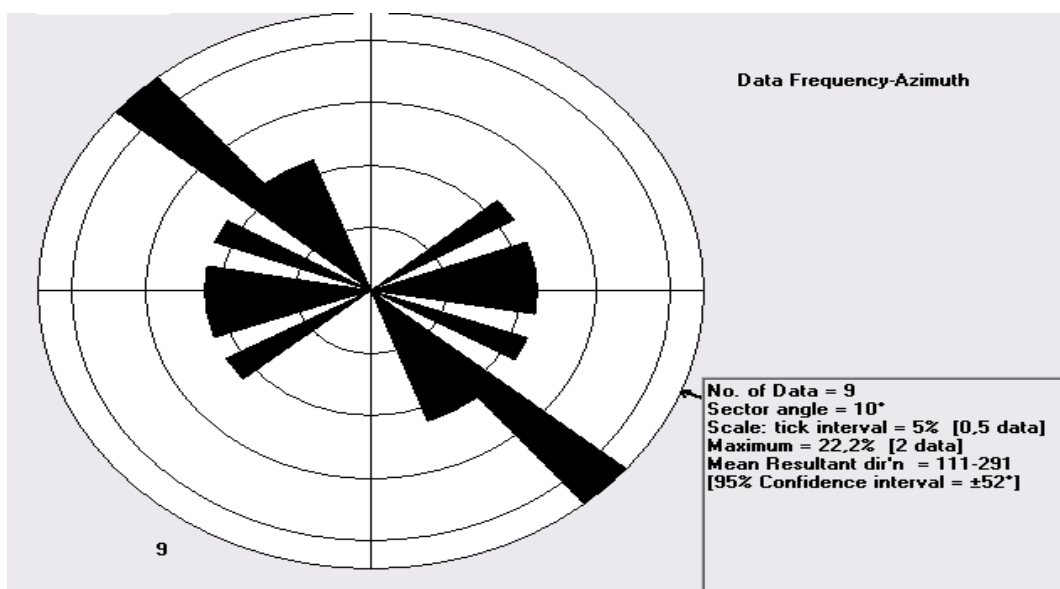
Figura 9: Mapa de Zonas Homólogas de Relevo da Folha Cocal, elaborado originalmente na escala de 1:100.000.



Fonte: Do Autor

A zona Homóloga A é a que recobre a maior parte da área. As principais propriedades de texturas e estruturas estão praticamente ausentes sendo na mesma encontrada as menores cotas da Folha. A zona Homóloga B, possui uma área mais restrita, com uma textura de relevo mediana à alta e alinhamentos de relevo destacado. Ao se analisar os alinhamentos de relevo, percebe-se a maior incidência de elementos na direção NW-SE (Figura 10).

Figura 10: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo na zona homóloga B. O trend mais persistente é NW-SE e com menor intensidade ocorre o trend NE-SW.



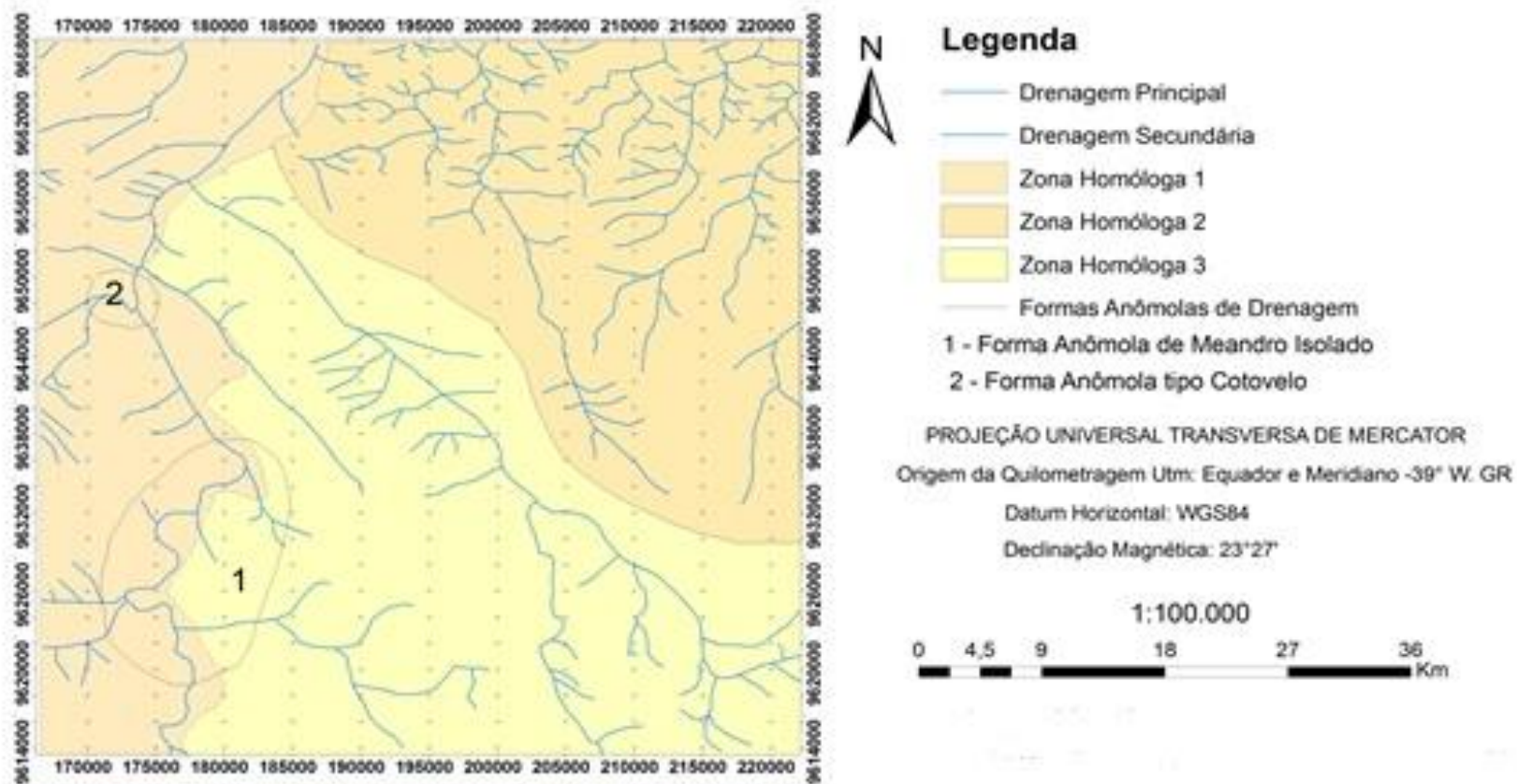
Fonte: Do Autor

4.1.2. ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM

Segundo Soares e Fiori (1976), a análise de drenagem pode ser feita a partir de seis propriedades particulares, que são: densidade de textura, sinuosidade dos elementos texturais, angularidade, tropia, assimetria e formas anômalas.

Por estas propriedades foram definidas três Zonas Homólogas. A zona 1, apresenta densidade média, sinuosidade mista, angularidade média, tropia multidirecional, assimetria fraca e formas anômalas de meandros isolados e de cotovelo (Figura 11).

Figura 11: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem da Folha Cocal, elaborado originalmente na escala de 1:100.000.



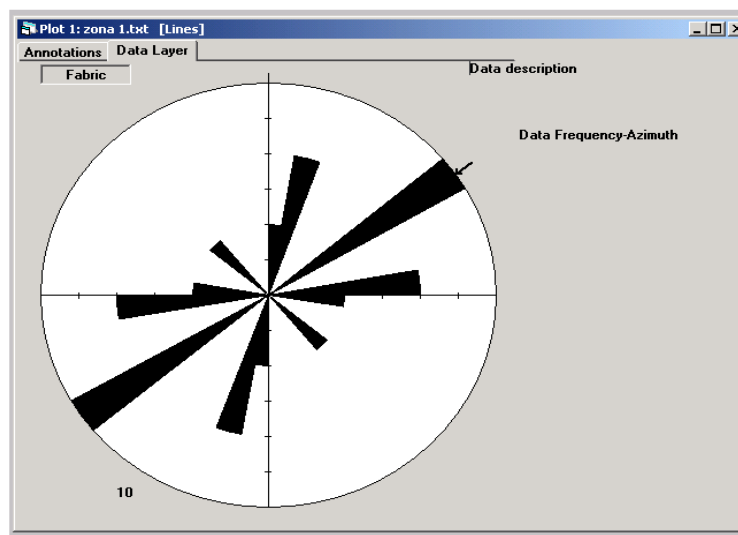
Fonte: Do Autor.

A zona Homóloga 1 é a que recobre a maior parte da área. São muito pouco distinguíveis propriedades de texturas e estruturas e as cotas da Folha (Figura 12), são as de menor valor.

Na zona 2, se tem densidade alta, sinuosidade mista, angularidade média, tropia multidirecional e assimetria forte (Figura 13). Na zona 3, a densidade é baixa, a sinuosidade é mista, a angularidade é média, a tropia é tridirecional e a assimetria é fraca (Figura 14).

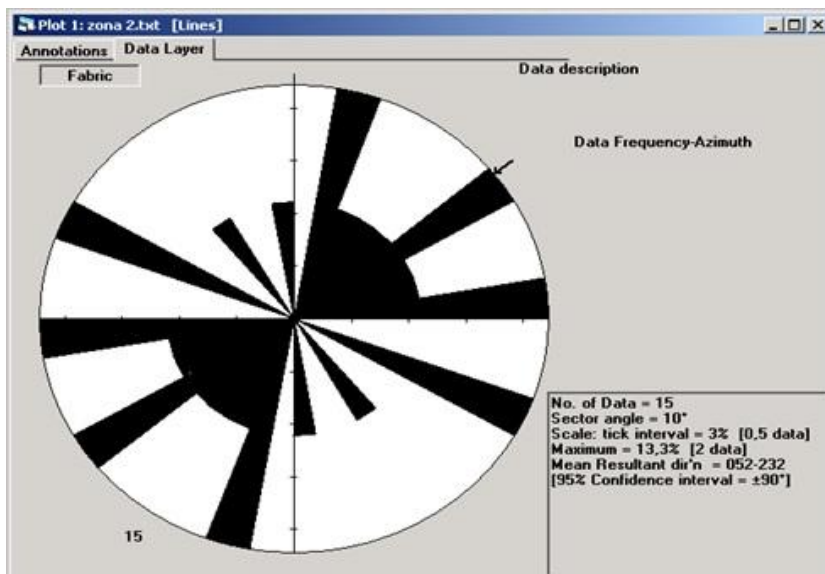
Pode-se fazer uma correlação entre as análise dos elementos de drenagem e a litoestratigrafia, pois sabe-se que a drenagem pode ter seu comportamento influenciado diretamente pela caracteística litológica da região. Por exemplo, em rochas que representam ambientes sedimentares, as características das drenagens são mais específicas, bem próprias deste ambiente. Diferentemente da drenagem que está ligada a ambientes de rochas cristalinas, que possuem características mais distintas.

Figura 12: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, Identificando direções preferenciais NE-SW na zona Homóloga 1.



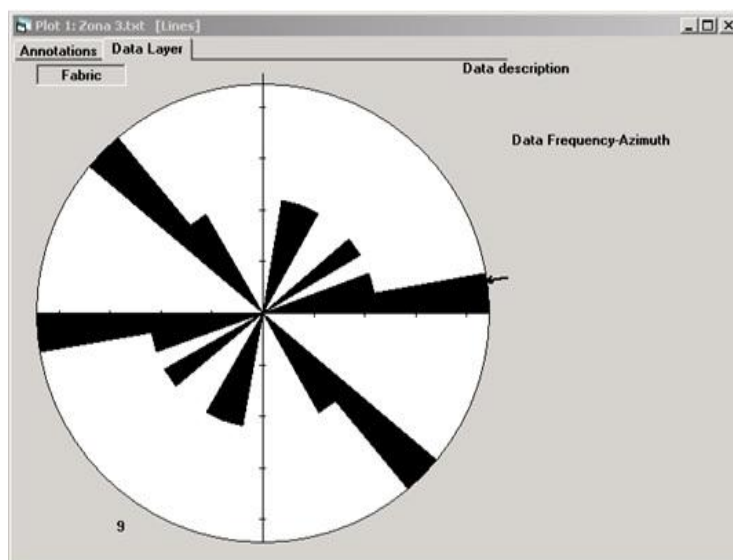
Fonte: do Autor

Figura 13: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, identificando direções preferenciais NE-SW na zona homóloga 2.



Fonte: do Autor

Figura 14: Rosácea para os traços de alinhamento de drenagem, identificando direções preferenciais NW-SE na zona homóloga 3.



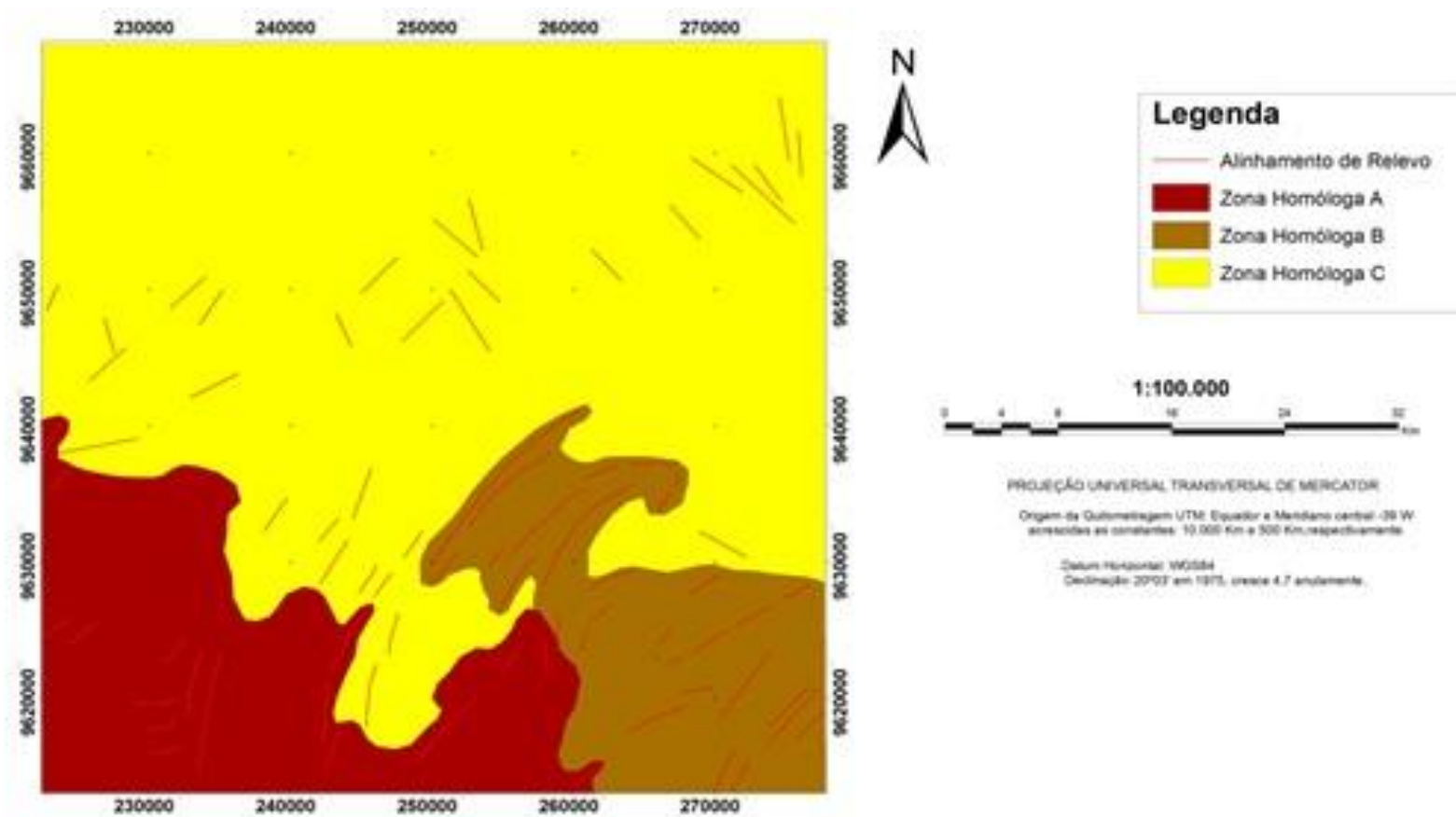
Fonte: do Autor

Os dados estruturais permitiram uma interpretação preliminar, onde se percebe que estes elementos estruturais tem relação com os processos tectônicos de escala regionais, fortemente refletidos na escala da folha.

Na área adjacente à Folha Cocal, na Folha Chaval, (SA.24-Y-C-H), Medeiros(2011), em trabalho semelhante mostrou a semelhança entre as duas áreas, em elementos de relevo e drenagem.

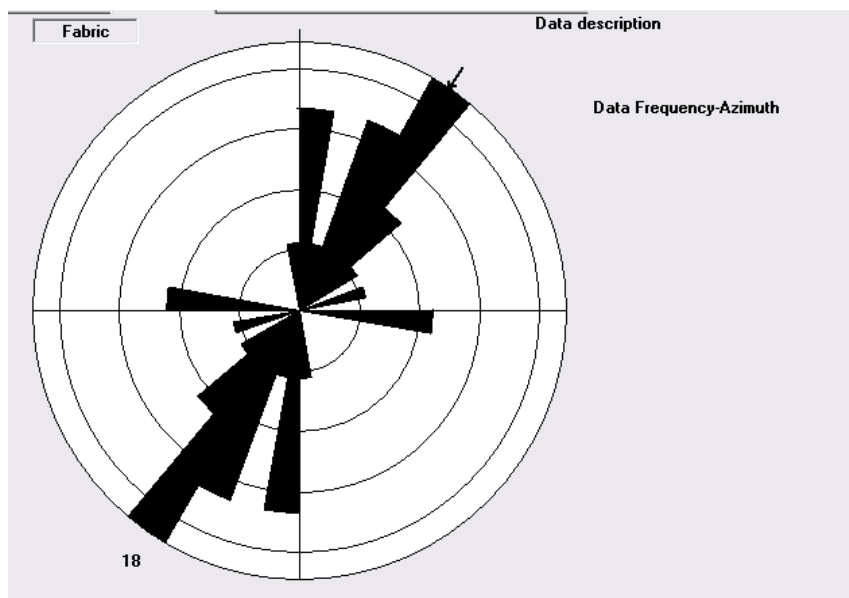
Três zonas homólogas, como mostradas na figura 15, compuseram rosáceas, conforme pode ser visualizado nas figuras 16, 17 e 18.

Figura 15: Mapa de Zonas Homólogas de Relevo, elaborado originalmente na escala de 1:100.000, destacando os Alinhamentos de Relevo. As Quebras Negativas estão definindo as Zonas Homólogas.



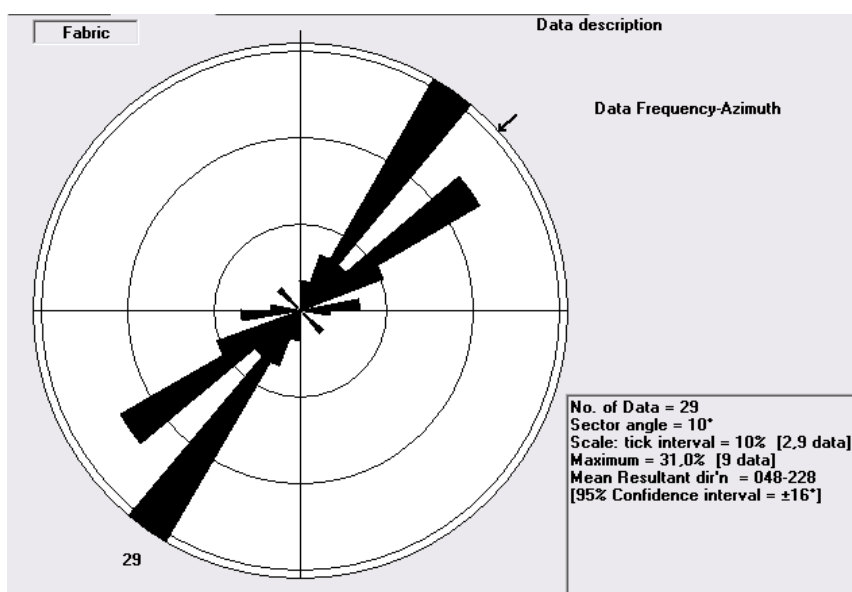
Fonte: Medeiros (2011).

Figura 16: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga A. O trend mais abundante é para NE-SW e com menor intensidade ocorre o trend NW-SE.



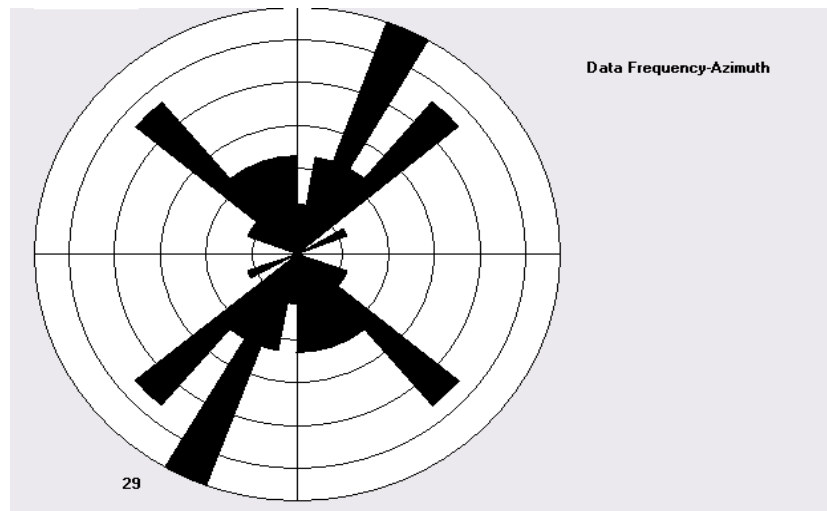
Fonte: Medeiros (2011).

Figura 17: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga B, com orientação preferencial NE-SW.



Fonte: Medeiros (2011).

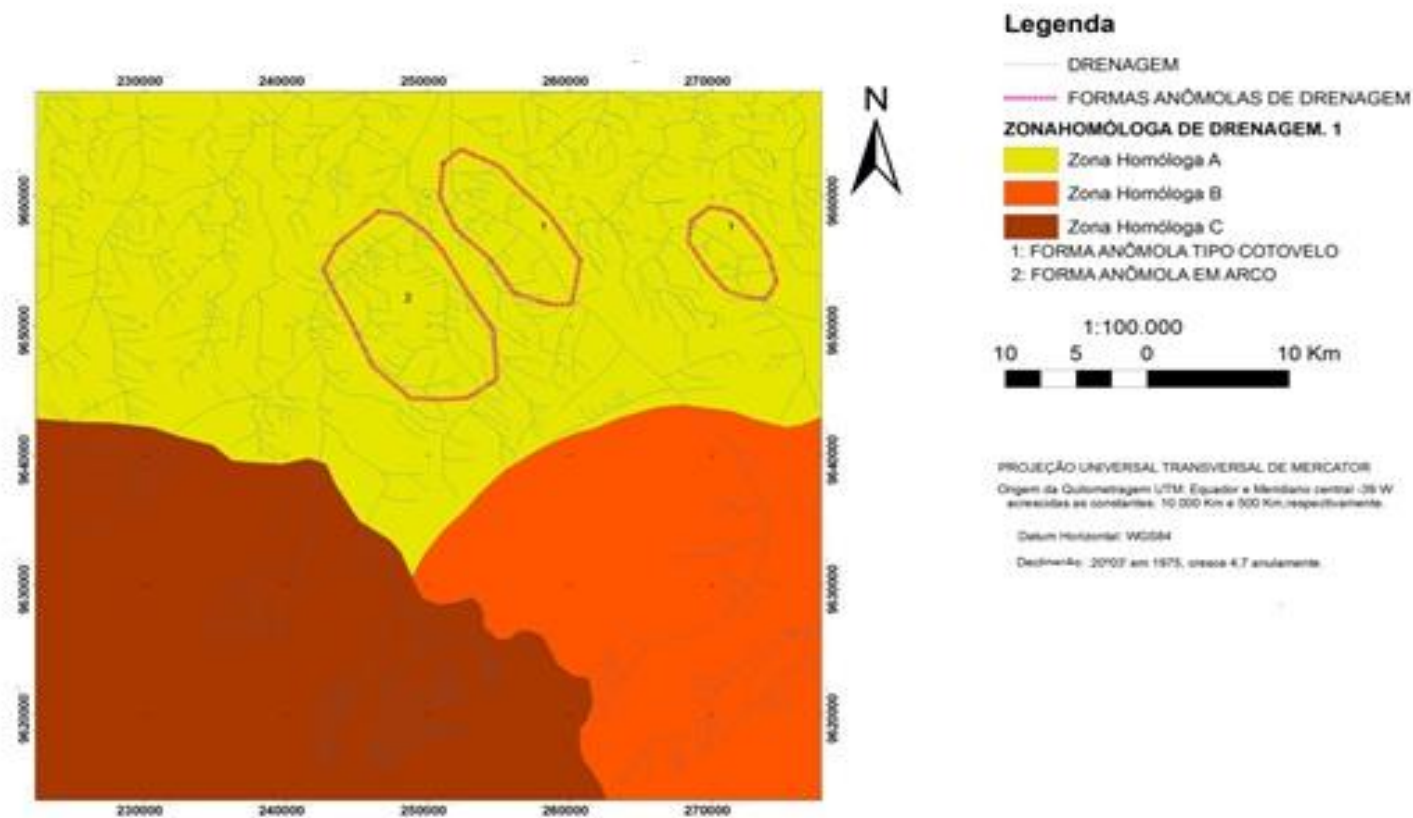
Figura 18: Rosácea definindo as direções preferenciais dos alinhamentos de relevo da Zona Homóloga C. Estão presentes direções NE-SW e NW-SE.



Fonte: Medeiros (2011).

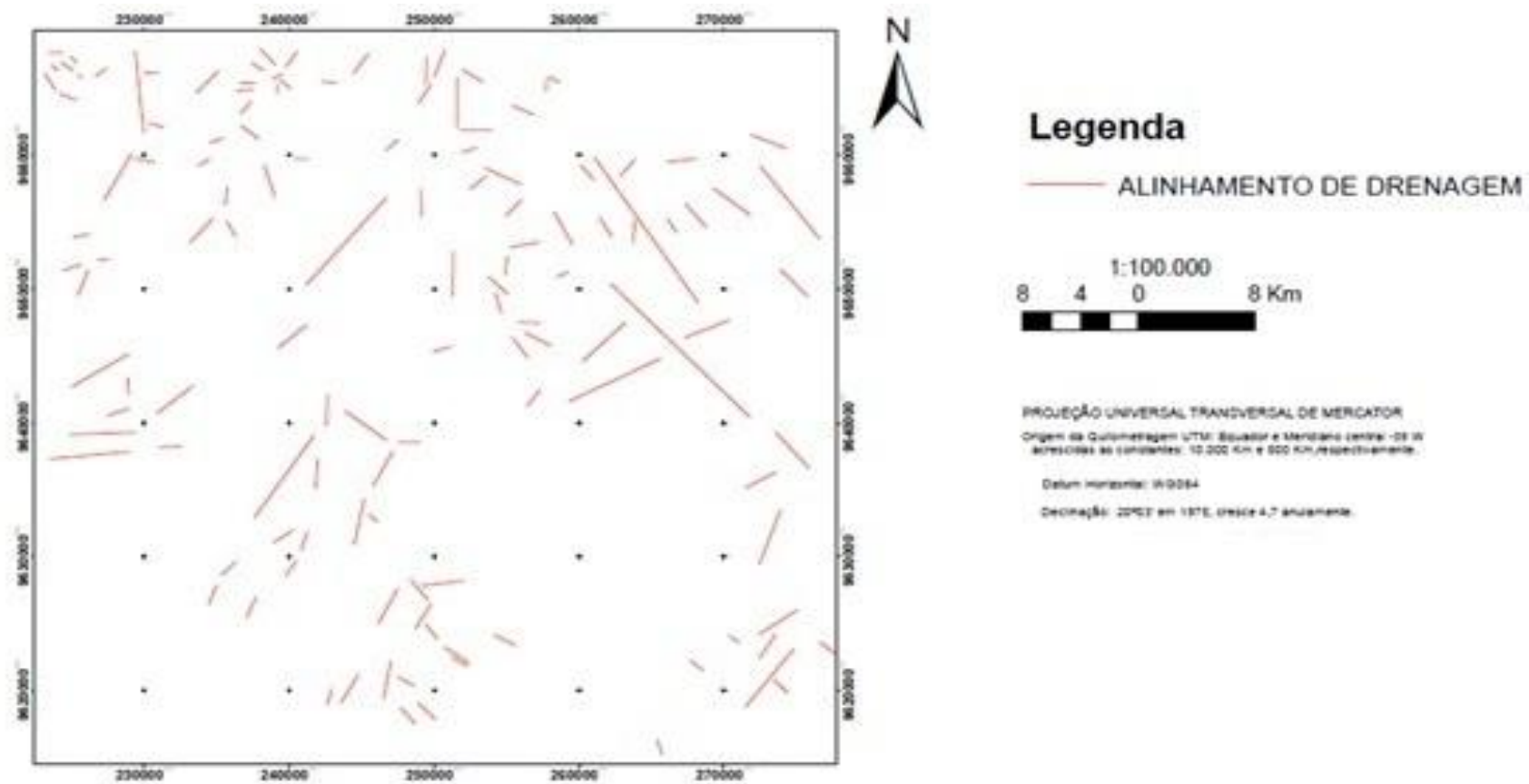
No que se refere à análise da drenagem também foram definidas três Zonas Homólogas, mostradas nas figuras 19 e 20, cujas rosáceas respectivas são apresentadas nas figuras 21, 22 e 23.

Figura 19: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem, elaborado originalmente na escala de 1:100.000, apresentando traços de alinhamento de drenagem e formas anômolas de drenagem.



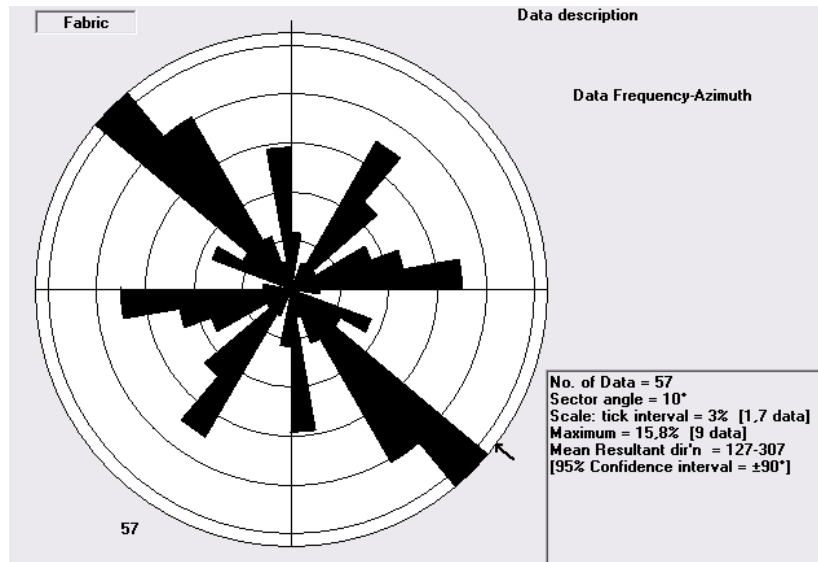
(Fonte: Medeiros 2011).

Figura 20: Mapa identificando os traços de alinhamento de drenagem, elaborado originalmente na escala de 1:100.000.



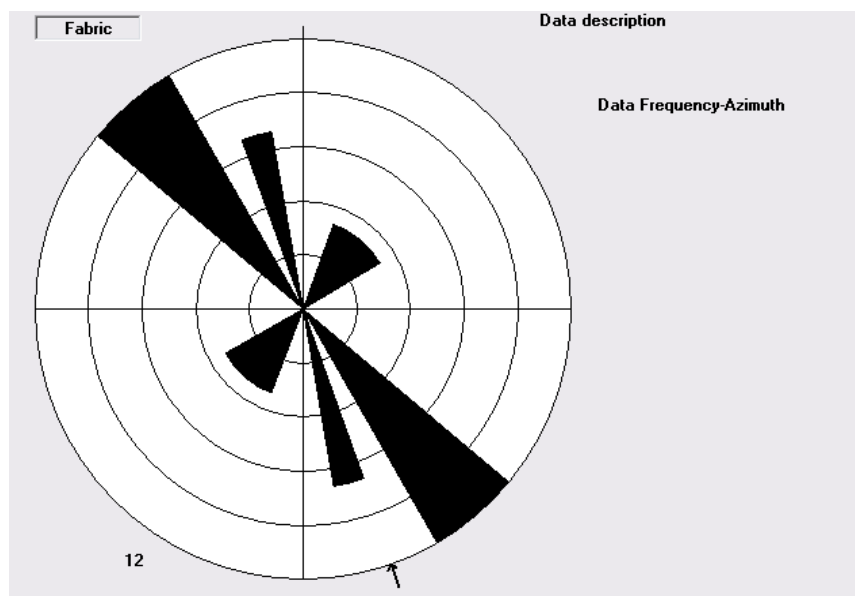
(Fonte: Medeiros 2011).

Figura 21: Rosácea dos traços de alinhamento de drenagem para a Zona Homóloga A, identificando direções preferenciais NW-SE e de forma secundária NE-SW.



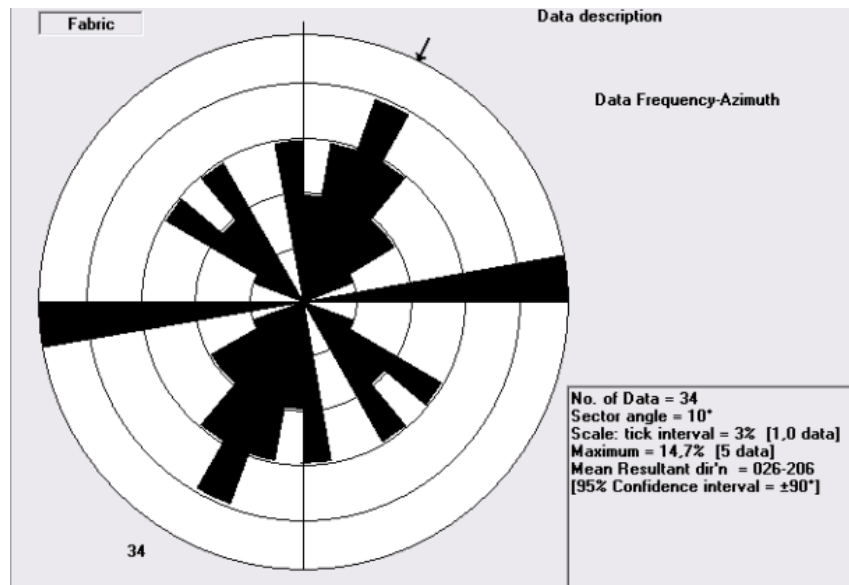
(Fonte: Medeiros 2011).

Figura 22: Rosácea identificando a direção dos traços de alinhamentos de drenagem da Zona Homóloga B, mostrando trend preferencial NW-SE.



(Fonte: Medeiros 2011).

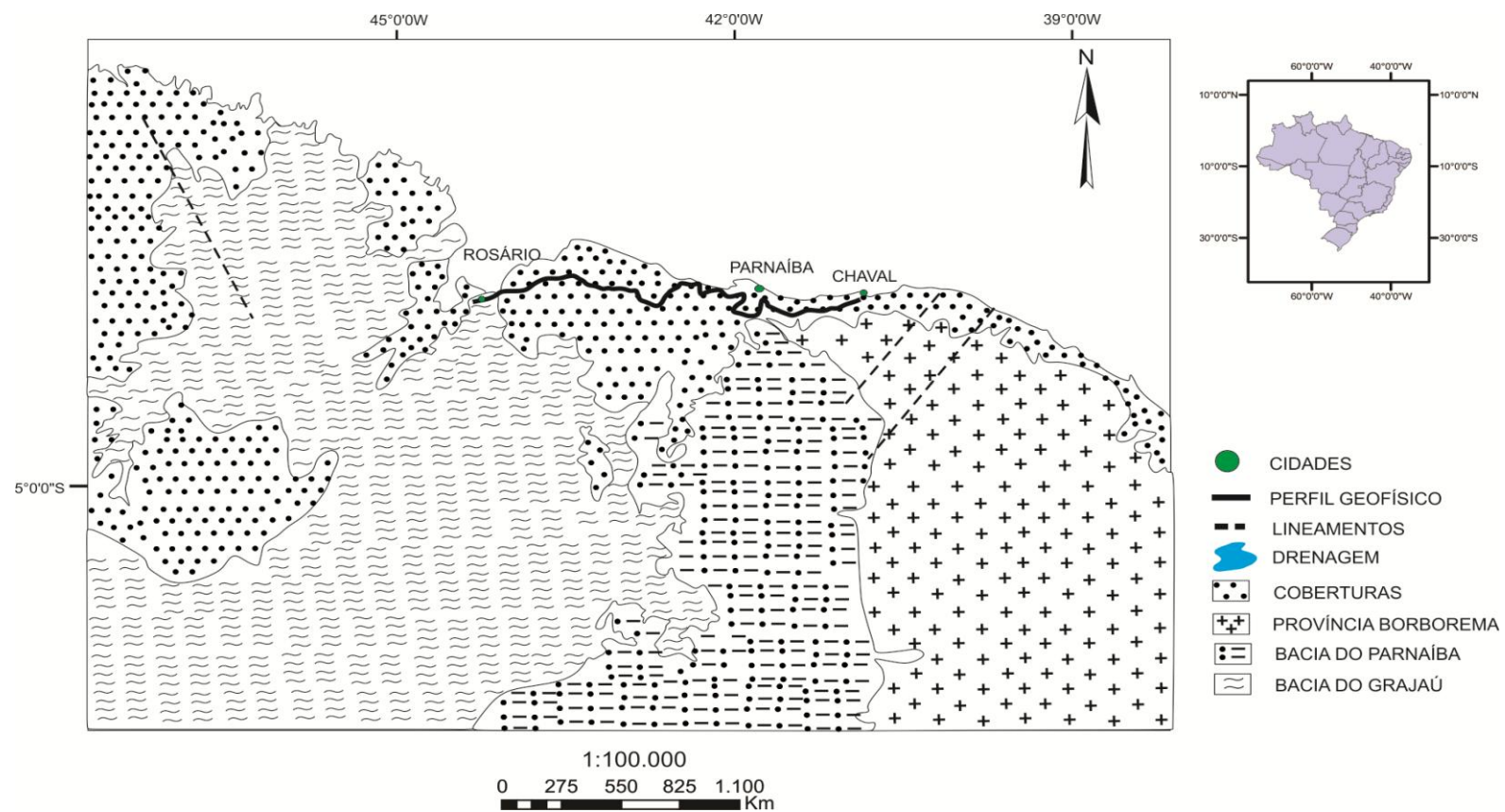
Figura 23: Rosácea definindo a direção preferencial dos traços de alinhamento de drenagem da Zona Homóloga C, mostrando trend preferencial NE-SW.



(Fonte: Medeiros 2011).

4.2. Comportamento do relevo e da drenagem na área limítrofe Ceará-Piauí-Maranhão

Figura 24: Mapa geológico de porção centro-norte do Brasil.



(Fonte: compilado e modificado de CPRM 2003).

O mapa geológico simplificado da figura 24 contempla todas as áreas sobre as quais estão sendo feitas considerações neste trabalho. Nele se apresenta de forma esquemática e simplificada um resumo do conhecimento geológico deste espaço geográfico, importante para compreender as relações espaço-temporais entre entidades geotectônicas em consideração.

Na parte central deste espaço, a área limítrofe CE-PI-MA, é onde de forma destacada, se concentram os trabalhos de análise de elementos de relevo e drenagem desta pesquisa.

5 INTEGRANDO E REGIONALIZANDO DADOS

O banco de dados e informações até aqui obtidos permitiram a caracterização do comportamento dos elementos de relevo e de drenagem sobre as unidades geológicas da Província Borborema, da Bacia do Parnaíba e das coberturas cenozoicas da área em consideração. Estas são informações importantes para ajudar no alcance de um dos objetivos dessa pesquisa, a qual não se encerra com este relatório, qual seja o da definição do limite encoberto do Cráton São Luís.

Nessa busca associam-se informações provindas dos levantamentos bibliográficos, os quais permitiram avançar na sintetização do conhecimento regional, no que se refere a compreender a organização geotectônica regional e à litoestratigrafia da região em apreciação, bem como os aspectos estruturais destacados da mesma, um conjunto de informações que permitiram uma regionalização a seguir apresentada.

5.1 Geomorfologia

A área configurada compreende de forma principal quatro unidades geomorfológicas: Superfície Sertaneja, o nível de base da região; os Maciços Residuais; o Planalto da Ibiapaba, sustentado pelas rochas da Bacia do Parnaíba, especialmente o Grupo Serra Grande; a Planície Litorânea ou Costeira.

Segundo Moreira e Gato (1981), a Superfície Sertaneja corresponde ao nível mais baixo do relevo, com altitudes máximas que não ultrapassam 330 m. Constitui a maior unidade de expressão territorial, subdividindo-se em: (A) área conservada com superfície pediplanada com pequenas depressões e (B) área dissecada, que corresponde às áreas residuais, gradativamente mais elevadas que a superfície pediplanizada, as quais apresentam capacidade de sulcamento de drenagem.

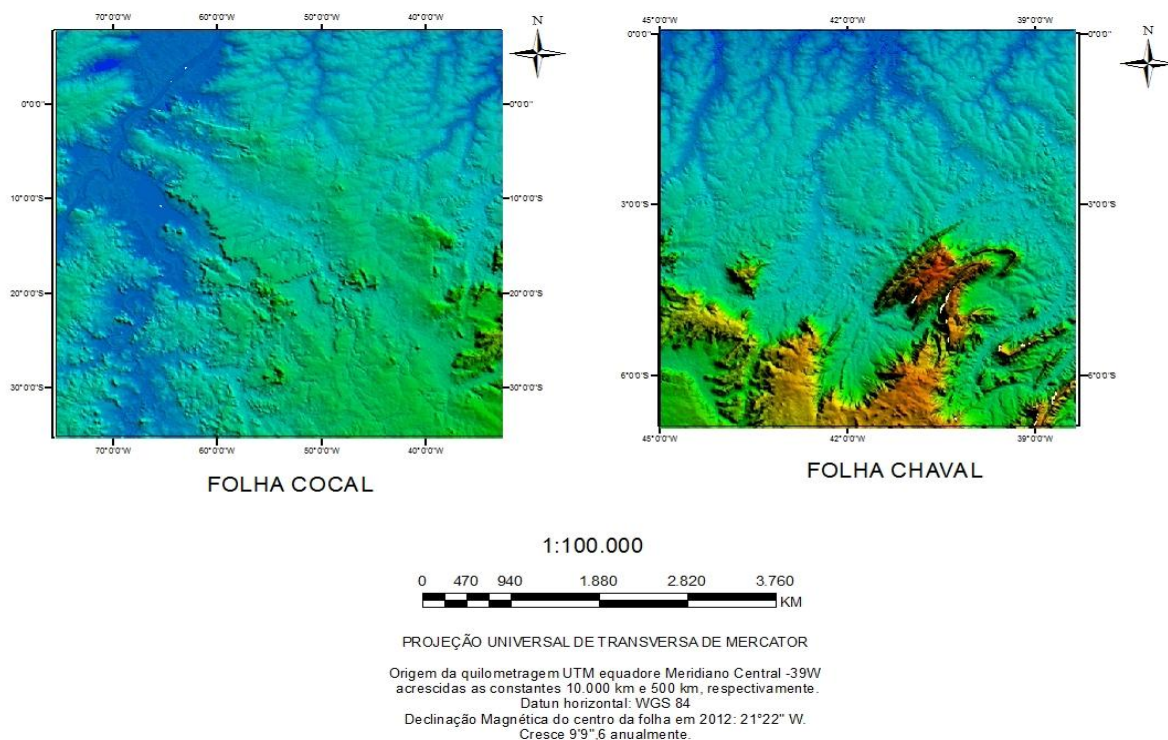
Já o Planalto da Ibiapaba, presente de forma destacada na porção centro-sul da região de estudo, é representado pela borda leste-norte da Bacia

do Parnaíba. Possui altitudes de até 700m e corresponde a Serra da Ibiapaba, com uma área de mais de 39.000 km². A escarpa erosiva da Serra está voltada para leste e norte. O Planalto da Ibiapaba apresenta uma alta declividade de cerca de 20°, de topo extenso e formas arredondadas e aplainadas, localmente angulosas e com vertentes côncavas, retilíneas e côncavo-convexas, onde observam-se ravinamentos. Sua parte oriental é sustentada por rochas do Grupo Serra Grande. O segmento norte da serra tem cotas menores, na faixa de 400-500m.

Segundo Barbosa et al, (1973), a região que compreende a Bacia do Parnaíba, em escala regional, apresenta, de forma destacada as seguintes unidades geomorfológicas: Planalto Setentrional Pará-Maranhão, Pediplano Central do Maranhão, Planalto da Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão, Superfície Sub-litorânea de Bacabal e Planície-Marinha do “Golfão Maranhense”.

Na análise das folhas Cocal e Chaval, conforme mostrado nas figuras 25 e 26, respectivamente, a separação de unidades geomorfológicas sugerida por Moreira e Gato (op. cit.) é bem evidente. Nas porções sul-sudeste da Folha Cocal e na parte sul da Folha Chaval estão presentes os terrenos elevados da terminação norte do Planalto da Ibiapaba, bem como alguns poucos maciços residuais, sustentados principalmente por quartzitos. Divergentemente à essa área destacam-se os terrenos dominados pela Superfície Sertaneja e pela Planície Costeira, ainda mais distalmente.

Figura 25: Mapa mostrando imagens SRTM das folhas Cocal e Chaval, destacando a morfologia do terreno.



Fonte: Do Autor

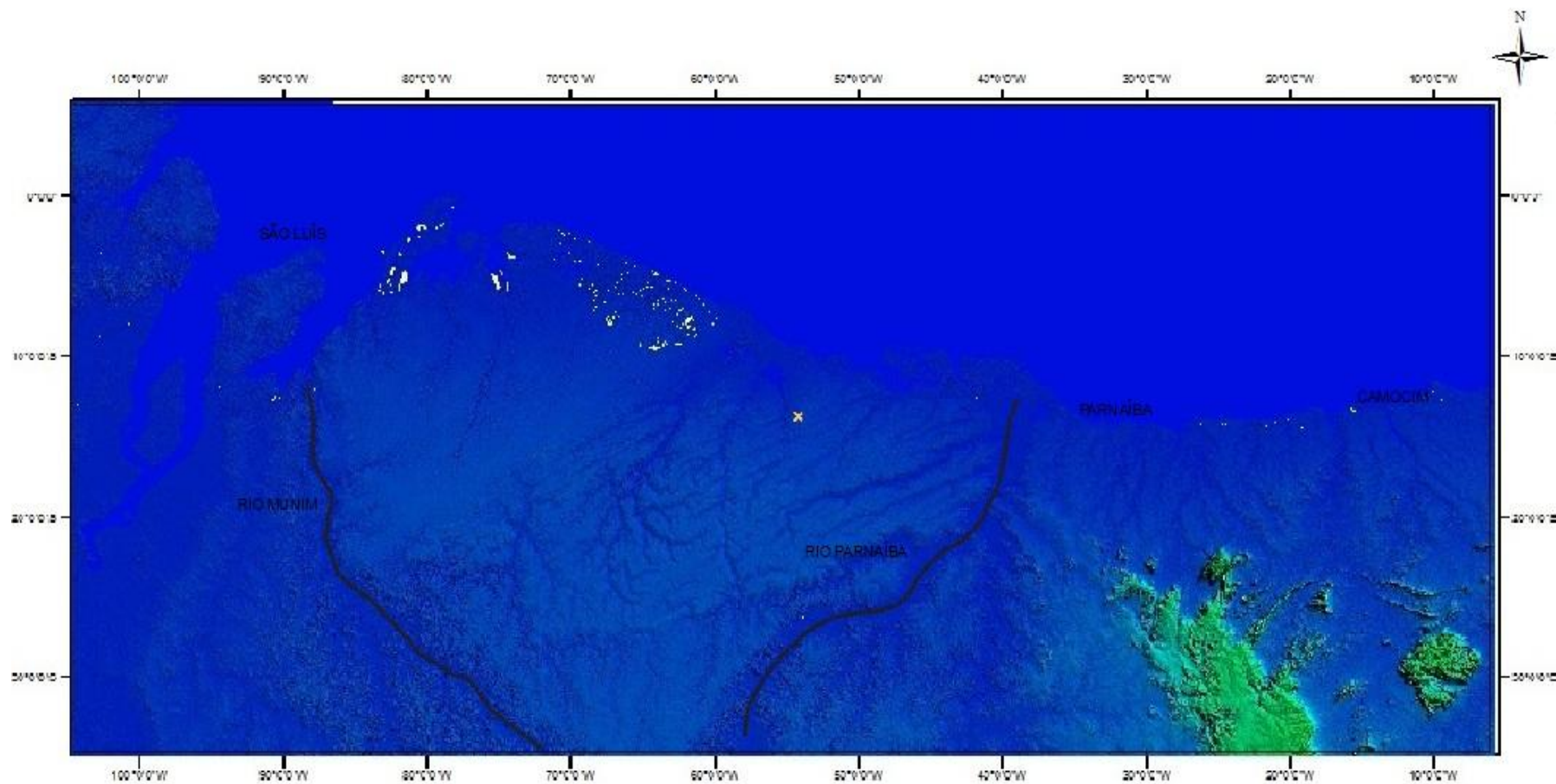
Na figura 26, em análise mais abrangente, pode-se distinguir de forma clara, pelo menos três domínios, principalmente no que se refere ao comportamento da drenagem. Na parte leste, onde dominam rochas da Província Borborema, as direções preferências, já visualizadas nas rosáceas compostas para as folhas Cocal e Chaval são NE-SW; na porção centro-oeste o padrão é principalmente NW-SE; na porção centro-norte um misto dessas duas direções e também da direção N-S.

De forma muito clara destaca-se na figura a direção N-S dos elementos de drenagem, sobretudo às proximidades do litoral, a qual se superpõem às direções NE-SW e NW-SE, imprimindo inclusive diversas anomalias de drenagem.

Dois rios principais chamam a atenção nesse contexto. O rio Munim com direção NW-SE na parte centro-oeste da figura 26 e o rio Parnaíba, fortemente

orientado na direção NE-SW, na parte central do mapa. O controle estrutural desses dois rios, conforme visualizado na figura, configura um indicativo de que os mesmos podem ter uma ligação com o que representaria em subsuperfície a zona de passagem entre as unidades geotectônicas. Estas estariam organizadas conforme NE-SW, no Domínio Médio Coreaú. Por sua vez, o rio Parnaíba e as unidades litoestruturais da janela estrutural da região do Gurupi (PA-MA) fora do contexto dessa figura e situada mais a oeste, orientadas fundamentalmente NW-SE, descritos entre outros por Abreu (1990); configuraria a orientação do rio Munim. Se assim for, essa configuração espacial seria um indicativo forte da marcação cartográfica do limite em subsuperfície do Cráton São Luís.

Figura 26: Imagem SRTM mostrando a porção meio Norte do Brasil, com destaque para a disposição dos Rios Parnaíba e Munim.



Fonte: Do Autor

6 LEITURA SINTÉTICA DO CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A partir das figuras 24 e 26 é possível ensaiar uma leitura sintética dos aspectos geológicos e geomorfológicos da região em apreciação e sugerir algumas extrapolações, buscando responder a um dos aspectos principais desta pesquisa, qual seja a de definir a borda do Cráton São Luís e as implicações dela decorrente em termos do conhecimento regional.

A compartimentação do relevo, como não poderia deixar de ser, guarda uma relação íntima com os aspectos geológicos e pode ser assim sumarizada:

- Na porção centro-sul-sudeste da Figura 26 estão as maiores expressões do relevo, correspondendo na Figura 24 às exposições dos litotipos da Bacia do Parnaíba e principalmente aos quartzitos das unidades litoestratigráficas do DMC. Corresponde às unidades geomorfológicas do Planalto da Ibiapaba e aos Maciços Residuais;

- Distalmente, a partir dessa área, em direção ao norte, o relevo é suavizado configurando a denominada Superfície Sertaneja, de pouca expressão nessa área, correspondente aos granitoides tipo Chaval, e aos gnaisses do noroeste do DMC, também marcada pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba;

- Daí, em direção ao litoral ocorrem os litotipos associados ao desenvolvimento da Bacia do Grajaú com a implantação de uma relevo plano com baixos valores de cotas, no qual se insere a implantação do sistema de drenagem atual, dominado por rios principais orientados sobretudo N-S. Ai são desenvolvidas extensas planícies fluviais, nas quais já se fazem sentir a influência marinha;

- No domínio litorâneo ocorrem de forma predominante os extensos depósitos eólicos dos “Lençóis Maranhenses” que se estendem para leste na área da figura 24, até a região de Camocim-CE. Ai dominam os campos de dunas que avançam dezenas de quilômetros continente a dentro;

- A análise da drenagem configura padrões distintos observados nas figuras 24 e 26, os quais permitem avançar na tese de que o rio Parnaíba, orientado NE-SW, no seu delta na chegada ao Oceano Atlântico e as orientações do rio Munim e seus tributários orientados NW-SE podem configurar o desenho do que poderia ser em subsuperfície o contorno estrutural da borda do Cráton São Luis, cujas unidades litoestruturais estão expostas na janela erosiva da região de Rosário – Pedrinhas-MA.

A apreciação geológica desse contexto mostra algumas singularidades, a saber:

- O rio Parnaíba assinala a passagem entre as bacias do Parnaíba e do Grajaú, conforme pode ser visto nas figuras 24 e 26. Se ele se configura como o limite em subsuperfície da borda cratônica estaria assim estabelecido a influência desse limite na delimitação das duas bacias. Isso abriria novas possibilidades de interpretação sobre a maneira como poderiam ter sido os condicionantes da deposição de sedimentos nessa área, a partir do Mesozóico.

Uma pergunta aqui se colocaria: existiriam nessa área abaixo das unidades da Bacia do Grajaú rochas paleozoicas da Bacia do Parnaíba?

- Se o rio Munim situa-se na área na qual se configura a borda NW-SE do Cráton São Luis ele assinalaria também um importante acidente geológico, o qual poderia condicionar a instalação de depocentros mais importantes genericamente para sul e tão somente coberturas pouco significativas para norte.

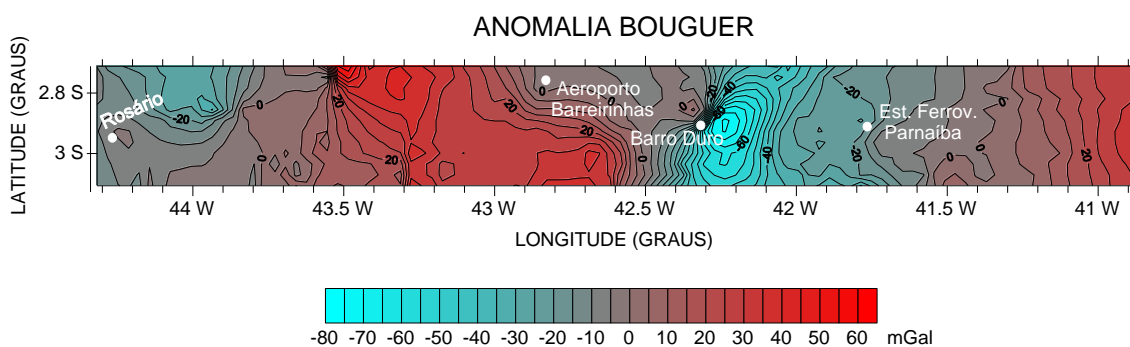
7 O LEVANTAMENTO GEOFÍSICO (GRAVIMETRIA)

7.1 Aspectos gerais

7.1.1. APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS GRAVIMÉTRICOS.

Os dados gravimétricos obtidos entre Rosário-MA e Camocim-CE, permitiram a construção do mapa Bouguer, mostrado na figura 27, com isogálicas espaçadas de 10 mGal. A análise do mapa levou às considerações a seguir apresentadas.

Figura 27: Mapa de anomalia Bouguer da área estudada, com intervalo de 10 mGal.

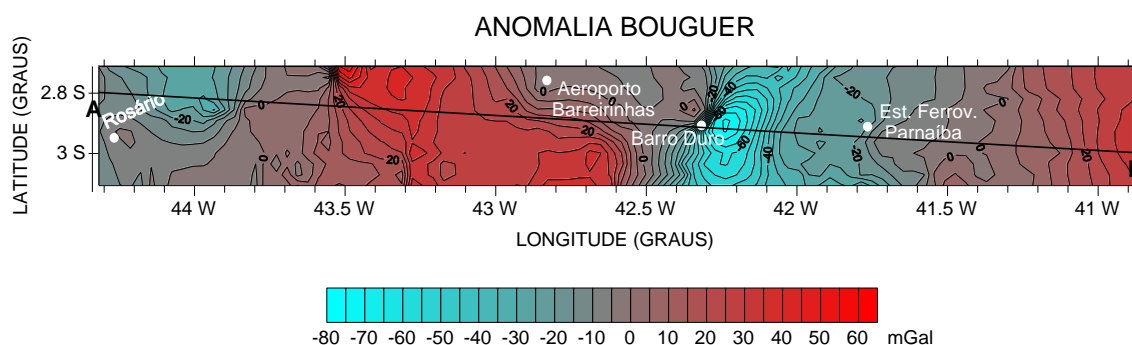


Fonte: Do Autor

Na porção do mapa situada a oeste de 42°W as isogálicas mostram orientações NNE – SSW. Nessa porção é possível observar locais com gradientes gravimétricos maiores (representados por uma separação menor entre as isogálicas), que podem ser associados a lineamentos estruturais. A leste de 42° a orientação predominante das isogálicas é N-S e não há gradientes elevados.

O segmento A-B, marcado sobre a figura 28 mostra a localização do perfil gravimétrico apresentado na parte superior da figura 29. No perfil, os valores medidos estão representados pelo sinal +, enquanto a linha contínua representa os valores calculados para o modelo de distribuição de densidade mostrado na parte inferior da figura 29.

Figura 28: Mapa Bouguer da região estudada.



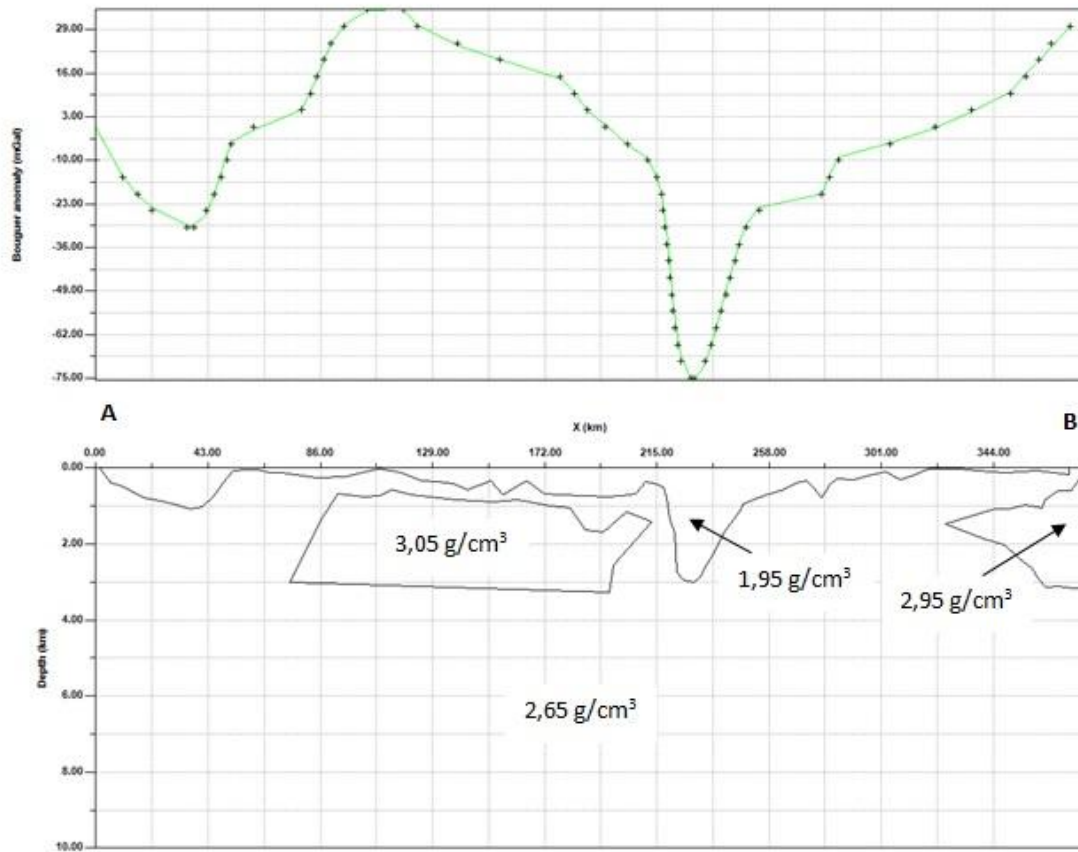
Fonte: Do Autor

No modelo, a densidade $1,95 \text{ g/cm}^3$ representa a cobertura sedimentar enquanto os outros valores são representativos do embasamento ígneo/metamórfico. Os valores de $2,95 \text{ g/cm}^3$ são associados a rochas mais básicas do que aquela associada à rochas um pouco menos densas, com valor da ordem de $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Em termos do embasamento, as massas com fraco contraste de densidade poderiam representar as diferenças entre tonalitos e sequências supracrustais onde dominam rochas vulcânicas bastante conhecidas no Cráton Africano e que pertencem ao Cráton São Luis e os quartzitos, xistos, gnaisses e o granitóide Chaval, presentes na área mais leste do perfil. A forte anomalia negativa observada na parte central do perfil assinala a presença de rochas sedimentares do Parnaíba – Grajaú, com expressivas espessuras, presumidas entre 3 e 5 Km.

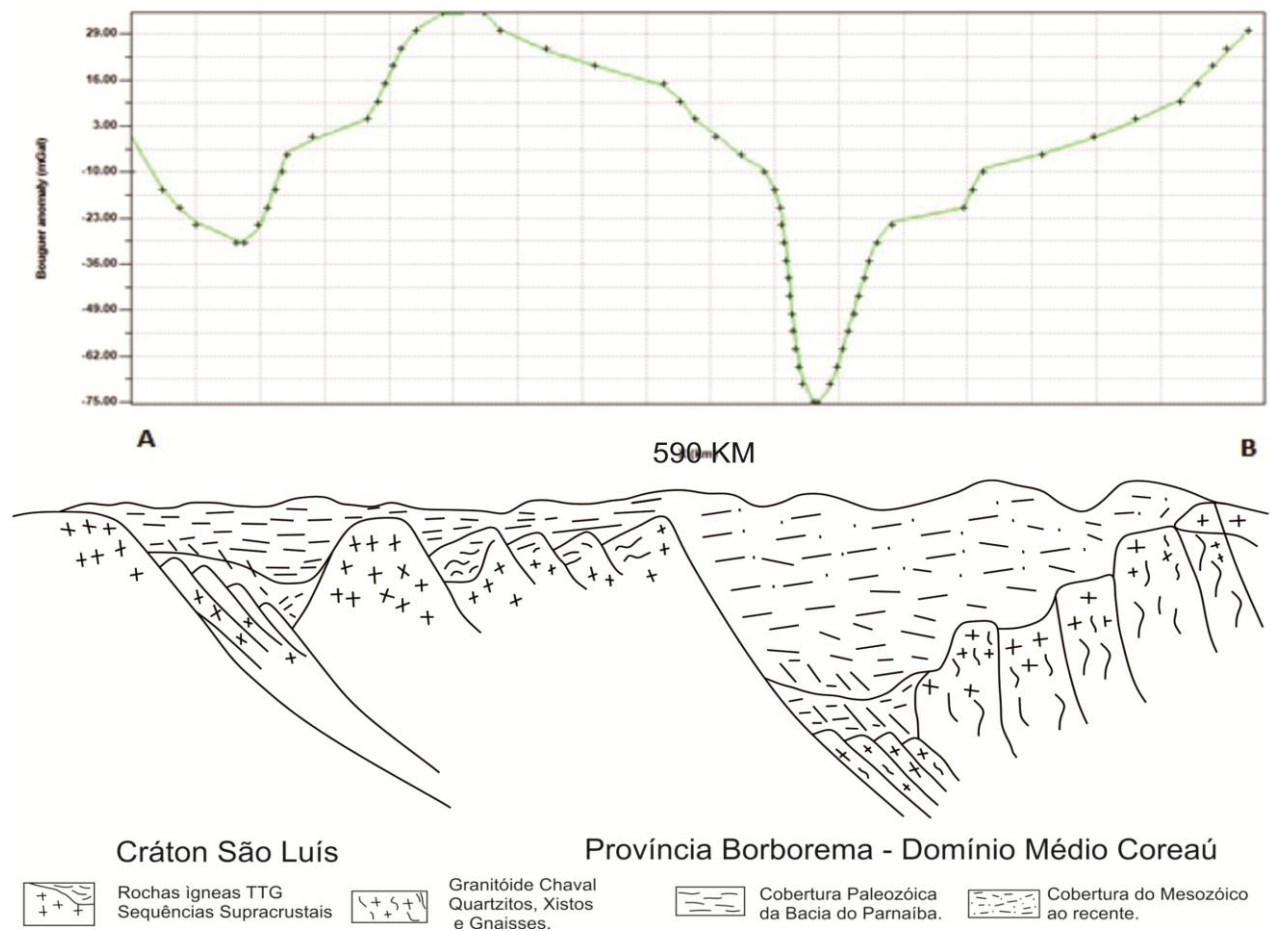
O modelo de distribuição de densidade foi correlacionado às informações geológicas disponíveis para área investigada. Essa correlação permitiu o estabelecimento do modelo geológico apresentada na parte inferior da figura 30.

Figura 29: Perfil gravimétrico (valores medidos representados pelo sinal + e calculados representados pela linha contínua) segundo o segmento AB mostrado na figura 28 e modelo de distribuição de densidade para a subsuperfície.



Fonte: Do Autor

Figura 30: Modelo esquemático da seção geológica da área estudada.



Fonte: Do Autor

No segmento que representa o Cráton São Luis, o relevo do embasamento, configura uma superfície com pouco contraste topográfico. As variações dessa superfície, para cima e para baixo podem ser o reflexo da distribuição de rochas de densidades distintas, presentes no contexto do Cráton. Assim, ali podem estar presentes faixas e pequenas bacias com rochas supracrustais que seriam responsáveis pelos baixos estruturais, que se contraporiam às rochas tonalíticas-graníticas, nas áreas marcadas por anomalias positivas, as quais se expõem na área de Rosário – Pedrinhas - MA. No modelo percebe-se ainda a fraca assimetria da massa modelada com densidade $3,05 \text{ g/cm}^3$ mais profunda no lado leste que no oeste.

A leste de Rosário está assinalada outra anomalia gravimétrica negativa, a qual deve expressar a presença de rochas menos densas que podem representar rochas sedimentares com espessuras ainda não reportadas regionalmente.

Para leste, a partir do meridiano $42^\circ 30''$, configura-se uma forte anomalia negativa a qual pode ser interpretada como representando a presença de rochas sedimentares paleozoicas e meso-cenozoicas, em estrutura abatida do embasamento. Desse meridiano para leste são encontrados afloramentos do Granitoide Chaval, o qual comparativamente às rochas do Cráton e aos gnaisses tonalíticos e granulitos diversos do Complexo Granja tem densidade menor, o que faz acentuar essa deficiência de massa. Na área também se encontram quartzitos, em grande quantidade e xistos subordinados, além de corpos alcalinos.

A anomalia é também levemente assimétrica e a curva ascendente para leste marca a presença de rochas densas, da crosta inferior, cada vez mais próximas à superfície do terreno, as quais afloram entre Barroquinha-CE e Granja-CE.

O perfil, de forma sintética, mostra assim três setores bem delineados: o Craton, a oeste; a zona de passagem para o Domínio Médio Coreaú, sobre a qual se assenta provavelmente uma espessa sequência sedimentar da ordem de quilômetros, numa bacia sob a forma de gráben; e as rochas densas do oeste do Domínio Médio Coreaú, no contexto das quais se insere o Granitoide Chaval.

8 DISCUSSÃO DOS DADOS DA PESQUISA

Esse trabalho de TCC constitui-se uma pesquisa multidisciplinar, a qual, em muito fortalece a formação acadêmico-profissional da área das geociências, nesse caso específico na fronteira geologia-geofísica.

Nos aspectos da geologia o trabalho buscou o entendimento sobre os arranjos geométricos e de forma restrita dos arranjos cinemáticos dos corpos geológicos presentes na área, fundamentando-se de forma principal na análise de produtos sensores e de um controle de campo restrito.

Os elementos de partida foram extraídos do banco de dados e informações existentes na literatura; os dados primários gerados pelo autor da pesquisa, principalmente fundamentado na análise do comportamento de elementos de relevo e de drenagem, utilizando-se produtos sensores, especialmente fotografias aéreas convencionais, por meio do procedimento metodológico consagrado na literatura especializada, o método “Lógica e Sistemática” de autoria de Soares e Fiori (1976).

A aplicação dessa metodologia enfatiza, a partir da análise realizada nas folhas Cocal e Chaval, a separação espacial e assim cartográfica de quatro domínios geológico/geotectônicos presentes na área em consideração, a saber: Província Borborema, Bacia do Parnaíba-Grajaú, Cráton São Luis e a Província Costeira.

Assim essa metodologia mostra-se uma vez mais, robusta, em termos de separação cartográfica de litologias, grupos de litologias e unidades geológico-geotectônicas.

O uso da metodologia introduzida por Venezianni & dos Anjos (1982) para a análise principalmente de produtos sensores representada por imagens de radar e de satélites orbitais, reforça e reafirma a separação originalmente definida com o uso do método Lógica e Sistemática, anteriormente referido.

Entre os métodos geofísicos potenciais utilizados como suporte aos trabalhos de cartografia geológica, o método gravimétrico tem sido um dos mais empregados, justamente por fornecer uma separação espacial de massas de densidades distintas, em subsuperfície.

A correlação entre o modelo espacial de separação de massas de densidades diferentes, utilizando-se o método gravimétrico e a presença das rochas em superfície com suas posturas espaciais definidas a partir, principalmente dos elementos estruturais, tectógenos ou não, constituiu-se uma ferramenta potente para sustentar a modelagem geotectônica.

O perfil geológico-geofísico Rosário-MA – Camocim-CE, numa extensão de aproximadamente 590 quilômetros, construído com os dados e observações de 295 estações, foi definido e realizado com o propósito de estabelecer geometrias em subsuperfície das litologias ou grupos litológicos que ocorrem ao longo do mesmo.

Os resultados alcançados foram auspiciosos, na medida em que permitiram uma compartimentação espacial em três segmentos, a saber: o domínio cratônico, a oeste, definido como um patamar, em termos do perfil gravimétrico; o segmento central, marcado por forte anomalia gravimétrica negativa, interpretativamente atribuída à presença de um pacote expressivo de rochas sedimentares da bacia do Parnaíba e Grajaú (?); um segmento, à leste, com um traçado ascendente da linha definidora da anomalia bouguer, com uma tendência ainda indefinida, provavelmente desenhando uma anomalia positiva forte, no sentido da área de ocorrência de rochas granulíticas do Complexo Granja, do Domínio Geotectônico Médio Coreau.

Todos esses dados e informações tratados de forma conjunta levam à convergência de que a área onde o rio Parnaíba com orientação NNE-SSW desemboca no Atlântico, assinala pela presença da forte anomalia negativa e a diferença de comportamento entre as porções leste e oeste seja do perfil gravimétrico como do comportamento dos elementos de relevo e de drenagem, ser considerada como a área limitante entre o Cráton São Luis e a Província Borborema.

Essa geometria assim estabelecida com o uso de metodologias consagradas, tratadas de forma integrada, abre perspectivas novas para a modelagem geotectônica regional, em termos cartográficos com implicações prospectivas no que se refere à pesquisa de hidrocarbonetos e de água subterrânea se se buscar replicar as bases metodológicas aqui utilizadas, realizando outros perfis geológico-geofísicos divergentes, a partir de Rosário-MA, por exemplo para Sul, Sudeste e Sudoeste.

Esse ponto – ter realizado apenas um perfil geológico- geofísico – e a partir dele fazer extrapolações, pode ser considerado em humilde autocrítica, uma fragilidade do trabalho. Isso o limita, mas não o diminui, uma vez entre os pressupostos que se buscavam, declarados nos objetivos do trabalho, pelo menos na área específica de influência desse perfil foi plenamente atendido, na medida em que se indica claramente o limite entre o Cráton São Luis e a Província Borborema, ao mesmo tempo em que se estabelece um conhecimento novo sobre a geometria das coberturas paleo-meso-cenozoicas dessa porção do território nacional.

9 CONCLUSÕES

A partir de dados pré-existentes e estudos desenvolvidos nessa pesquisa, na região limítrofe Maranhão-Piauí-Ceará, foi possível analisar e interpretar os comportamentos de elementos estruturais de relevo e de drenagem, numa escala de 1: 100.000, compreendendo as folhas Chaval e Cocal, situadas na região limítrofe Piauí-Ceará;

Foram gerados mapas temáticos e desenvolvidos diagramas estatísticos para esses elementos, fundamentais para embasar novos estudos nas porções a oeste da região inicialmente estudada com vistas a definir o limite entre o Cráton São Luís e suas províncias estruturais adjacentes;

A integração de dados de cartografia geológica permitiu a confecção de um mapa geológico sintético, a partir do qual foi possível, juntamente com a interpretação de produtos de SRTM avançar na proposta de modelo geométrico para a região objeto da pesquisa, o qual abre novas perspectiva de compreensão do arcabouço geotectônico regional;

Os resultados provindos da aplicação do método gravimétrico no perfil Rosário-MA - Camocim-CE, em muito fortaleceram a interpretação geológica regional em termos de geometria de grupos litológicos e compartimentos geotectônicos.

Nas interpretações apresentadas se destacam os rios Munim e Parnaíba como elementos fisiográficos importantes, provavelmente assinalando reflexos do que seria em subsuperfície o limite encoberto do Cráton São Luis, nessa porção leste dessa unidade geotectônica.

O tratamento integrado dos resultados advindos da aplicação de todas essas metodologias permitiram por fim, uma compartimentação espacial da área em três segmentos, a saber: o domínio cratônico, a oeste, um patamar gravimetricamente positivo; o segmento central, marcado por forte anomalia gravimétrica negativa, atribuída à presença de rochas sedimentares da bacia do Parnaíba e Grajaú (?); um segmento, à leste, com uma tendência ainda indefinida de uma outra anomalia positiva forte, relacionada às rochas granulíticas do Complexo Granja, do Domínio Geotectônico Médio Coreau.

Essa geometria assim estabelecida com o uso de metodologias consagradas, tratadas de forma integrada, abre perspectivas novas para a modelagem geotectônica regional, em termos cartográficos com implicações prospectivas no que se refere à pesquisa de hidrocarbonetos e de água subterrânea.

As expertises adquiridas ao longo desse trabalho são de grande valor para uma formação sólida em geologia, sobretudo nos aspectos da cartografia geológica, uma das grandes demandas nacionais na área das geociências, um gargalo no crescimento da indústria mineral no Brasil e um insumo indispensável a um País que ainda necessita construir a sua infraestrutura de logística, de cidades humanizadas e de uma convivência harmoniosa entre o homem e a natureza, naquilo que hoje se denomina sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. A. M. Evolução geotectônica do pré-cambriano da região Meio Norte do Brasil e sua correlação com a África Ocidental. 1990. 440 f. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1990.
- ABREU, F. A. M. de GORAYEB, P.S.S. Os terrenos granulíticos do NW cearense como indicadores de crustal-stacking-wedge. In: CONG. BRAS. GEOL., 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1996. v. 6. p. 269-272.
- ABREU, F. A. M. de; GORAYEB, P.S.S. ; GAMA, Jr. T. ; HASUI, Y. . O cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. In: 7 Cong. Lat. Am. Geologia, 1988, Belém. **Anais do 7 Cong. Lat. Am. Geologia**, 1988. p. 20-34.
- AGUIAR, G.A.. Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão. In. Congresso Brasileiro de Geologia, 25.São Paulo. **Anais.SBG.v.3**, p.113-122. 1971
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y, BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A.. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/NE, Simp. Geol. NE. 1977
- AMADOR, E. S. Depósitos relacionados à unidade inferior do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, [Salvador]. **Anais Salvador: CBG**, 1982. p. 530-541, 1982.
- ARAI, M. Dinoflagelados (Dinophyceae) miocênicos do Grupo Barreiras no nordeste de Estado do Pará (Brasil). **Revista da Universidade de Guarulhos**, v. 2, p. 98-106, 1997. Número especial.
- ARAI, M. et al. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35.1988. Belém. **Anais.Belém: SBG** 1988. v. 2, p. 738-752.
- BARBOSA, G. V.; BOAVENTURA, R. A. S.; PINTO, M.N. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAM. **Folha SB-23 Teresina e parte da Folha SB-24 Jaguaribe**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1973. (Levantamento de Recursos Naturais, 51).
- BIZZI, L.A., SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H.(Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM, 2003. 692p.
- BRITO, I. M. A. Estratigrafia da Bacia do Parnaíba II – A Seqüência Sedimentar Inferior. **Anais. Acad. Bras. Ciências**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 4, p. 695 – 727, 1979.
- BRITO NEVES, B. B.. Decálogo para a tectônica dos continentes. In: 8 Simp. Nac. Estud. Tect., 2 Internat. Symp. Tectonics Braz. Geol. Soc., Recife (PE), **Anais (res. Expand.)**: 17-19. 2001

BRITO NEVES, B. B. A Província Borborema. In: Fernando Flávio Marques de Almeida; Yociteru Hasui. (Org.). O Pre-Cambriano do Brasil. S.Paulo: Edigar Blucher, 1984, v. p. 123-186.

BRITO NEVES, B. B.; DOS SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R.. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In CORDANI, U. G.; 2000

CABY, R.; ARTHAUD, M. H. Major precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*.14 : 871 - 874. 1986

CAMPBELL, D. F. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin. São Luís, MA. PETROBRÁS/DEPEX (Relatório Interno). 1949.

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; Fonseca, V. M. M.. Bacia do Parnaíba. Phoenix (Aracaju), v. 7, p. 01-06, 2005.

CAPUTO, M. V.; LIMA, E. C. Estratigrafia, Idade e Correlação do Grupo Serra Grande - Bacia do Parnaíba. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, Rio de Janeiro. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, 1984. v. 2. p. 725-739.

CAPUTO, M. V.; MARQUES, L. F. P.; CARVALHO, L. C. A. Desenvolvimento Tectônico das Bacias do Amazonas e Parnaíba. Rio de Janeiro, PETROBRÁS (Rel. int.). 1983.

COSTA, M. J.; FRANÇA, J. B.; BACCHIEGA, I. F. 1975. O Eo - Cambriano e Cambro - Ordoviciano do nordeste do Ceará (Grupos Bambuí e Jaibaras). In: Simp. Geol. Nordeste, 07. Fortaleza, 1975. Atas. Fortaleza, Bol. Soc. Bras. Geol. Nuc. Nordeste. V. 5. P. 47 - 57.

COSTA, M. J; FRANÇA, J. B; LINS, C. A. C; BACCHIEGGA, I. F; HABEKOST, C. R. . Projeto Jaibaras. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Agência de Recife. 1973.

CUNHA F. M. B. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, UFRJ. Dissertação de Mestrado. 1986.

DELLA FÁVERA, J. C., Tempestitos da Bacia do Parnaíba. Porto Alegre, UFRGS. Tese de Doutorado. 1990.

FERNANDES, J. M. G., Paleoecologia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: Sociedade Brasileira de Geologia (Ed.), Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia 1: 330-340. 1984.

FERREIRA, C.S. Características litopaleontológicas da formação Pirabas, estado do Pará. Anais da VI conferência geol. Das Guianas. 1966.

FERREIRA, C. S., A.C.M. MACEDO & J.F.P. ASSIS,. A Formação Pirabas no Estado do Pará – novo registro de subsuperfície: Belém (furo 4BE-01-PA, CPRM). Anais da Academia Brasileira de Geociências 50(3): 427. 1978.

FORTES, F. Geologia de Sete Cidades. Fundação Cultural Monsenhor Chaves, Teresina, 142p. 1996.

FOSSEN, H. Geologia Estrutural. Oficina de textos, p 584. 2012.

FREITAS, E. L.. Análise Estratigráfica da Sequência Devoniana Aflorante na Bacia do Parnaíba entre as Cidades de Picos e Oeiras (PI). Tese de Doutorado. 1990

GAMA JUNIOR, T. Geologia do Setor Nordeste da Zona de Cisalhamento de Granja - Noroeste do Ceará. Doutorado, Universidade federal do Pará. 1992.

GÓES, A.M. 1995. Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, SP, 1 v.

GÓES A. M. & COIMBRA A. M. 1996. Bacias sedimentares da província sedimentar do meio-norte do Brasil. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Resumos. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia. 5:186-187.

GÓES, A. M ; ROSSETTI, D. F. ; ARAI, M. . A passagem Aptiano-Albiano na bacia do Grajaú, MA. in: ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W.. (org.). O Cretáceo da bacia de São Luís-Grajaú. Belém: mpeg editoração, 2001, v. 1, p. 101-117.

GÓES, A. M. ; ROSSETTI, D. F. ; NOGUEIRA, A. C. R. ; TOLEDO, P. M. . Modelo deposicional preliminar para a Formação Pirabas, nordeste do Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 2, n.1, p. 3-15, 1990.

GORAYEB, P. S. S.; GAUDETTE, H. E. ; MOURA, C. A. V.; ABREU, F. A. M.. Geologia e geocronologia da Suite Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 435-449, 1999.

GRAHN, Y. Revision of Silurian and Devonian Strata of Brazil. Palynology.16:35-61. 1992.

HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; SCHMUS, R. V; WERNICK, E. . Evidências Para Rifteamento Neoproterozóico E Convergência Subsequente na Margem Noroeste da Província Borborema, Estado do Ceará: Implicações para a Fragmentação de Rodínia e a Amalgamação do Gondwana Oeste.. In: 41 Congr. Bras. Geologia, 2002, João Pessoa. A Geologia e o Homem, 2002. v. 1. p. 306-306.

HOBBS, B.E.; MEANS, W.D.; WILLIAMS, P.F. An Outline of Structural Geology. John Wiley & Sons, Inc. 1976.

KEGEL, W. Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba. DNPM/DGM. Rio de Janeiro. 48 p. (Bol. 141). 1953.

- KLEIN, E.L.; PALHETA, E.M.S.; PINHEIRO, B.L.S.; MOURA, C.A.V; ABREU, F.A.M. Sistematização da Litoestratigrafia do Cráton São Luis e do Cinturão Gurupí. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 3, p. 415-418, 2005.
- LEITE, F. P. R.; OLIVEIRA, M. E. B.; OLIVEIRA, P. E.; SILVESTRE-CAPELATO, M. S.; ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W. Palinofloras miocenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, na Região Bragantina, Estado do Pará, Brasil. *Revista da Universidade de Guarulhos (Geociências)*, v. 2, p. 128-140. Número especial. 1997
- LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba, Integração Geológica-metalogenética. Recife, DNPM/CPRM. (Relatório Final da Etapa III). 1978.
- MABESSONE, M.1.– História geológica da província Borborema (NE Brasil). *RWS Brasileira de geo* Vol. 15: 119 – 129. 2002.
- MAURY, C. J. Fósseis Terciários do Brasil com Descrição de Novas Formas Cretáceas: 1-665. (Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil), 4, Rio de Janeiro. 1925.
- MEDEIROS, R.S.P. Comportamento Estrutural de elementos de Relevo e de Drenagem na Folha Chaval, (SA.24-Y-C-H), NW do Ceará. Iniciação Científica, UFPA. 2011.
- MOREIRA, M. M. M. A. & GATTO, L. G. S.. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. Geomorfologia da folha SA-24 Fortaleza. Rio de Janeiro, MME/DNPM. Cap 2, p. 213-252. (Levantamento de Recursos Naturais, 21). 1981.
- MUSSA, D. Dicotiledôneo fóssil da Formação Barreiras, Estado do Sergipe, Brasil. *Boletim Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, v. 181, p. 1-23, 1958.
- NASCIMENTO, D. A.; GAVA, A.; PIRES, J.; TEIXEIRA, W. Geologia da Folha SA.24-Fortaleza. In: Projeto Rabambrazil. Rio de Janeiro. DNPM. 21:23-212. 1981.
- OLIVEIRA, D.C. Geologia do Grupo Martinópolis, área de Campanário/ Paula Pessoa (Granja, CE): Implicações na evolução litoestratigráfica e tectonometamórfica do noroeste do Ceará. *RBG* 22(2) 143-156, Jun/1992.
- PASSCHIER, C.W. TROUW, R.A.J., RIBEIRO, A, PACIULO, F. Tectonic evolution of the southern Kaoko belt, Namibia. *Journal of African Earth Sciences* 35, 61-75. 2002.
- PAZ, J. D. ; ROSSETTI, D. F. . Reconstrução paleoambiental da Formação Codó (aptiano), borda leste da Bacia do Grajaú, ma. in: dilce de fatima rossetti; ana maria góes; werner trucknebrodt. (org.). O Cretáceo na bacia de São Luís-Grajaú. 1ed.BELÉM: EDITORA MUSEU GOELDI, 2001, v. 1, p. 77-100.
- PLUMMER, F. B. et alii. – Estado do Maranhão e Piauí. Relatório do Conselho Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 1946. 87 – 134. 1948.

- RAMSAY, J.G. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York, 568 p. 1967
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra), v. 2, n.1, p. 17-29, 1990.
- ROSSETTI, D. F.; GÓES, Ana Maria ; PAZ, J. D. ; MACAMBIRA, M. . Sequential analysis of the aptian deposits from the São Luís and Grajaú basins, Maranhão state (Brazil) and its implication for unraveling the origin of evaporites. Revista Brasileira de Geociências, SÃO PAULO, v. 30, n.3, p. 466-469, 2000.
- ROSSETTI, D. F.; GONÇALVES, DANIELE FREITAS; TRUCKENBRODT, WERNER; MENDES, ANDERSON CONCEIÇÃO. Argilominerais da formação Codó (Aptiano Superior), Bacia de Grajaú, nordeste do Brasil. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, Argentina, v. 13, p. 59-75, 2006.
- ROSSETTI, D. F. ; TRUCKENBRODT, W. . Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís, Maranhão. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 29-41, 1997.
- SÁ, J.H.S. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina, Estado do Pará. IG/UFRJ. Boletim Geociências, 3: 21-37. 1969.
- SANTOS, M. E. DE C. M. & CARVALHO, M., S. S. DE. Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. CPRM: Companhia de pesquisa e Recursos Minerais. Rio de Janeiro, cap. 6, p. 40-47. 2004.
- SMALL, H.L. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará. Rio de Janeiro, Inspetoria Federal de Obras contra as Secas, serie 1-D, publ. 32, 146 p. 1914
- SOARES, P. C. & FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica. Campinas. 1976.
- TORQUATO, J. R. & NOGUEIRA NETO, J. A. Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreau. Revista Brasileira de Geociências. 1996.
- TURNER F.J. & WEISS L.E.. Structural analysis of metamorphic tectonites. New York, Mcgraw Hill, 545p. 1963.
- TWISS, R. J. and MOORES, E. M. Structural Geology. Freeman & Company, New York 532 p. 1992.
- VAZ, P.T.; REZEN N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS, W.A.S. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 253-263, maio/nov. 2007.
- VENEZIANI, P.;& ANJOS, C.E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE. 54p. 1982.

YOUNG, C. G. K. Contribuição à análise estratigráfica da Formação Pimenteiras (Devoniano, Bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório. Monografia de Graduação, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro. 84p. 2003.