



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

**MODELO GEOMÉTRICO E CINEMÁTICO DOS AQUÍFEROS DO MUNICÍPIO DE
ABAETETUBA COM VISTA AOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

NOME: JULIANA CAROLINA SANTOS DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu (IG/UFPA)

**BELÉM – PA
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

**MODELO GEOMÉTRICO E CINEMÁTICO DOS AQUÍFEROS DO MUNICÍPIO DE
ABAETETUBA COM VISTA AOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

NOME: JULIANA CAROLINA SANTOS DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu (IG/UFPA)

BELÉM – PA

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)**

N244m Nascimento, Juliana Carolina Santos do.
Modelo geométrico e cinemático dos aquíferos do município de Abaetetuba com vista aos aspectos hidrogeológicos / Juliana Carolina Santos do Nascimento. — 2018.
xvii, 87 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Neotectônica. 3. Hidrogeologia. 4. Abaetetuba-PA. I. Título.

CDD 621.3678098115



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**MODELO GEOMÉTRICO E CINEMÁTICO DOS AQUÍFEROS DO MUNICÍPIO DE
ABAETETUBA COM VISTA AOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS**

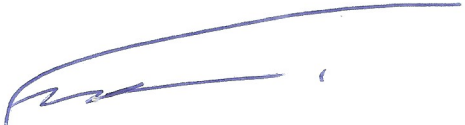
**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:
JULIANA CAROLINA SANTOS DO NASCIMENTO**

Como requisito para à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia

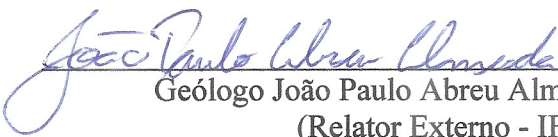
Data da Aprovação: 06/12/2018

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu
(Orientador – UFPA)



Geólogo João Paulo Abreu Almeida
(Relator Externo - IFPA)

À minha mãe, Simone Santos dos Santos.
À minha avó, Laurência Pinheiro dos Santos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

A Universidade Federal do Pará, através do Instituto de Geociências, por toda infraestrutura e suporte disponibilizado, possibilitando a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Francisco de Assis Matos de Abreu, sou grata pela sua paciência e dedicação prestada ao longo deste trabalho.

A toda minha família, em especial a minha mãe, Simone Santos, agradeço por todo seu apoio e estímulo ao longo da minha graduação, a minha avó Laurência Santos e minha tia Sandra Santos, pelo carinho e dedicação, e a minha tia Cristiana Santo pelo incentivo à leitura e despertar o interesse pela ciência.

Ao meu noivo, Arnaldo Queiroz, obrigada pelo seu apoio incondicional em todos esses anos, por toda ajuda que me ofereceu, por me inspirar, incentivar e estimular a crescer como profissional. Obrigada por tudo.

Aos amigos que fiz durante o curso, em especial ao Alan Queiroz, meu eterno companheiro de equipe, obrigada por todas as nossas discussões acadêmicas e por me impulsionar a querer melhorar profissionalmente a cada dia, e ao Alan Silva e Marcelo Santos por contribuírem com meu crescimento pessoal.

Ao Osmar Guedes e ao Antônio Gonçalves, pela orientação e auxílio no uso de diversos softwares e base de dados usados nesse trabalho

A todos os professores que estiveram presentes em minha vida, desde a educação básica a graduação, muito obrigada pela contribuição de cada um a minha formação como pessoa e como profissional.

*Tentar e falhar é, pelo menos, aprender.
Não chegar a tentar é sofrer a
inestimável perda do que poderia ter
sido.*

- Geraldo Eustáquio de Souza

RESUMO

O presente trabalho buscou estudar de forma integrada os aspectos hidrogeológicos e neotectônicos da região de Abaetetuba, nordeste do Estado do Pará, visando contribuir com o conhecimento do sistema de aquíferos a partir da determinação de parâmetros dos aspectos geológicos geométricos e cinemáticos e a relação entre eles. A base de dados para alcançar o escopo do trabalho envolveu a análise de informações contidas na carta planialtimétrica do IBGE, em imagens *Geoeye* e do satélite *landsat 8*, em modelos digitais de elevação do SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission* - (resolução 90 m e 30 m) e *Alos Palsar* (resolução 30 m e 12 m), em perfis construtivos de poços e no banco de dados do SIARGAS, os quais foram sistematizadas e integradas em um SIG - Sistema de Informação Geográfica - desenvolvido especificamente para este trabalho. A partir desses dados, realizou-se a análise das principais características da rede de drenagem e relevo, a fim de determinar a influência de processos neotectônicos na configuração atual desses elementos. Os mapas de drenagem foram confeccionados no *software ArcMap 10.5*, a partir de dados vetoriais disponibilizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -, refinados com o uso da imagem *Geoeye* e *landsat 8*. Os mapas de relevo foram gerados a partir de MDE – Modelo Digital de Elevação -, o tratamento da imagem de radar foi realizado no *software Global Mapper v19*, e o *layout* no *ArcMap*, com exceção do mapa hipsométrico, no qual foi utilizado o *software QGis 3.4*. Os resultados da análise integrada apontam a presença de um domínio estrutural com características sinistrais com ocorrência de falhas normais NW-SE, transcorrentes NE-SW e transtensivas E-W. Tais estruturas modificaram os aspectos geométricos dos aquíferos da região, e possivelmente, modificaram o padrão do fluxo hídrico subterrâneo, além de definirem área de recarga (estruturas trativas) para reservatórios mais profundos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Neotectônica. Hidrogeologia. Abaetetuba/PA.

ABSTRACT

The present work sought to study in an integrated way the hydrogeological and neotectonic aspects of the Abaetetuba region, northeast of the State of Pará, aiming to contribute to the knowledge of the aquifers system from the determination of parameters of geometric geological and kinematic aspects and the relation between them. The database to reach the scope of work involved the analysis of information contained in the IBGE planialtimetric chart, in *Geoeye* images and *landsat 8* satellite, in digital elevation models of SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission* - (resolution 90 m and 30 m) and *Alos Palsar* (resolution 30 m and 12 m), in constructive profiles of wells and in the SIARGAS database, which were systematized and integrated in a GIS - Geographic Information System - developed specifically for this work. From these data, the main characteristics of the drainage network and relief were analyzed, in order to determine the influence of neotectonic processes on the current configuration of these elements. The drainage maps were made in the *ArcMap 10.5* software, based on vector data provided by the IBGE - Brazilian Institute of Geography and Statistics-, refined with the use of *Geoeye* image and *landsat 8*. Relief maps were generated from MDE - Digital Elevation Model - the radar image treatment was performed in the *Global Mapper* software v19, and the layout in *ArcMap*, except for the hypsometric map, in which *QGIS 3.4* software was used. The results of the integrated analysis point to the presence of a structural domain with sinistral characteristics with occurrence of NW-SE normal faults, NE-SW transcurrent and E-W transtensives. These structures modified the geometric aspects of the aquifers of the region, and possibly modified the underground water flow pattern, in addition to defining a recharge area (traction structures) for deeper reservoirs.

Key-words: Remote Sensing. Neotectonics. Hydrogeology. Abaetetuba/PA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.....	3
Figura 2- Cursos de Drenagem. Fonte: Modificado do Riccomini <i>et al.</i> (2000).....	9
Figura 3- Padrões básicos da rede de drenagem definida pelo Howard (1967). Fonte: Modificado de Howard (1967).....	11
Figura 4- Feições características de anomalias na drenagem. Fonte: Modificado de Howard (1967).....	12
Figura 5- Critérios de classificação da rede de drenagem. Fonte: Modificado de Soares & Fiori (1976).	13
Figura 6- (a) Fraturas associadas ao terremoto em Dansht e Bayaz (Irã) de 1968, ressaltando o caráter descontínuo da falha, no quadro em destaque mostra a invariabilidade do padrão das rupturas com o encurvamento (FB) ocorrendo ao longo de falhas em escalas constantes. (b) Padrões de fratura ao longo de um segmento de uma falha direcional. As separações dilatacionais são caracterizadas pela ocorrência de brechas de implosão, falhas normais e direcionais subsidiárias. As separações antidilatacionais são caracterizadas pela ocorrência de brechas de explosão, cavalgamentos, dobras e falhas direcionais subordinadas. Ao longo do plano de falha principal ocorre a formação de brechas de atrito. Fonte: Modificado de Stewart & Hancock (1994) <i>apud</i> Costa (2004).....	16
Figura 7- Sistemas característicos de juntas neotectônicas. (a) Conjunto simples de juntas sistemáticas verticais de extensão ligado por juntas não sistemáticas. (b) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistemáticas. (c) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistemáticas. Legenda: SH – Maior tensão horizontal; Sh – Menor tensão horizontal. Fonte: Modificado de Stewart & Hancock (1994) <i>apud</i> Costa (2004).....	17

- Figura 8- (a) Fraturas em regime coaxial. 1 - C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo θ com σ_1 . T e fratura de partição e T' é outra que pode aparecer. 2 - fraturas de cisalhamento de um elipsoide deformado. 3 - fraturas de cisalhamento de um elipsoide deformado com arrastos. (b) Descontinuidades formadas na deformação não coaxial. Os ângulos são $\alpha = 75^\circ$ $\beta = 45^\circ$ $\gamma = 15^\circ$ (considerando o ângulo de atrito interno de 30°). R, P, X e Y (D) têm movimentos sinistrais em binários sinistrais. As flechas indicam as direções de estiramento e encurtamento. Fonte: Modificado de Hassui & Costa (1991). 18
- Figura 9- Tipos de estruturas ao longo de falhas transcorrentes. Fonte: Stewart & Hancock (1994) *apud* Costa (2004). 19
- Figura 10- Vistas em mapa de blocos rotacionados por um binário dextral e as estruturas dominantes. Fonte: Modificado de Woodcock & Schubert (1994) *apud* Costa (2004). 19
- Figura 11- (a) Sistemas transcorrentes. Os exemplos esquematizados são do tipo mais comuns e foram desenhados em padrão dextral. A escala é variável e um tipo pode aparecer como secundário em outro. As setas maiores indicam os movimentos dos blocos. Legenda: dupla seta – transcorrente; dentes – empurrão; pequenos traços duplos – normal. Pequenos traços finos agregados às falhas transcorrentes indicam componentes de rejeito de mergulho. (b) Padrões de sistemas de falhas transcorrentes. Fonte: Modificado de Hassui & Costa (1991). 20
- Figura 12- Arranjo espacial visto em mapa das estruturas associadas a uma falha transcorrente idealizada. Fonte: Modificado de Ferreira Jr. (1996). 21
- Figura 13- Estruturação geral de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Fonte: Câmara & Queiroz (2007). 23
- Figura 14- Modelo esquemático do paradigma dos quatro universos. Fonte: Câmara e Medeiros (1998). 24
- Figura 15- Balanço Hídrico de Belém do período de 1961 a 1977. Fonte: Modificado de Matta (2002). 28

Figura 16- Resumo esquemático do modelo hierárquico de classificação adotado pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE 2009). Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia, modificado do (IBGE 2009)	29
Figura 17- Localização das feições geotectônicas e estruturais aos arredores da área de estudo. Fonte: Modificado de Costa <i>et al.</i> (2002).	31
Figura 18- Modelos de subdivisão do Cráton Amazônico (a) compartimentação em blocos tectônicos (1997) e (b) compartimentação geocronológica. Fonte: (a) modificado de Tassinari e Macambira (2012) e (b) modificado de Santos (2003).....	32
Figura 19- Mapa geológico da Região do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi. Fonte: Modificado de Klein & Moura (2003).....	33
Figura 20- Mapa geológico do Cinturão do Araguaia. Fonte: Modificado de Gorayeb (2008) citado em Pinheiro (2011).....	34
Figura 21- Estruturas neotectônicas. (a) Maiores estruturas do Terciário Superior. Legenda: área pontilhada, sequência sedimentar Pirabas-Barreiras; eixos de dobras, linhas com setas transversais convergentes em sinclinais ou divergentes em anticlinais; flechas divergentes, orientação do eixo distensivo σ_3 ; flechas convergentes, orientação do eixo compressivo σ_1 . (b) Maiores estruturas do Quaternário. Legenda: eixos de dobras, linhas com setas transversais convergentes em sinclinais ou divergentes em anticlinais; flechas divergentes, orientação do eixo distensivo σ_3 ..	36
Figura 22- Mapa Geológico do Município de Abaetetuba. Fonte: Adaptado de Vasquez <i>et al.</i> (2008b).	39
Figura 23- Coluna estratigráfica da área de estudo. Fonte: Modificado de Rossetti (2001), Costa (2001) e Tatumi <i>et al.</i> (2008).	39
Figura 24- Mapa de drenagem do Município de Abaetetuba.	40
Figura 25- Mapa da Zona Homóloga I, mostrando em (a) curvas formas em S (b) meandros isolados (c) dobras em cotovelos (d) alargamento dos cursos de drenagem (e) curva anômala.	42

Figura 26- Mapa da Zona Homóloga II. Em (a) curvas em formas de arco (b) dobras em formas de S (c) alargamento de cursos de drenagem (d) formas de cotovelo (e) meandro isolado.	43
Figura 27- Mapa da Zona Homóloga III mostrando em (a) meandro isolado (b) curvas em formas de arco (c) alargamento de cursos de drenagem (d) curvas anômalas na drenagem (e) dobras em formas em S.	44
Figura 28- Mapa da Zona Homóloga IV. Em (a) Alargamento do curso da drenagem (b) meandro isolado (c) dobra em forma de cotovelo (d) curva em forma de arco (e) dobra em forma de S.	45
Figura 29- Mapa da Zona Homóloga V, mostrando em (a) dobras em formas de cotovelo (b) curvas em formas em Z (c) curvas formas de arco.	46
Figura 30- Mapa de drenagem da área de estudo.	48
Figura 31- Mapa de lineamentos da área de estudo.	49
Figura 32- Roseta dos lineamentos da área de estudo.	49
Figura 33- Roseta dos lineamentos da ZH-I.	50
Figura 34- Roseta lineamentos da ZH-II.	50
Figura 35- Roseta de lineamentos da ZH-III.	51
Figura 36- Roseta de lineamentos da ZH-IV.	51
Figura 37- Roseta de lineamentos da ZH-V.	51
Figura 38- Identificação de falhas transcorrentes dextral (dobra em forma de Z) e sinistral (geometria morfológica), no Rio Meruú-açu. Legenda: linhas amarelas, lineamentos; setas vermelhas, cinemática.	52
Figura 39- Falhas transcorrentes sinistrais reconhecidas através da análise da drenagem no Rio Abaeté.	53
Figura 40- Falhas dextrais e sinistrais identificadas pela análise da drenagem e elementos morfológicos do Rio Moju.	54

Figura 41- Formato da Ilha Urubuêja e ilhas adjacentes com geometria losangular, orientadas preferencialmente segundo NE-SW.....	55
Figura 42- (a) Mapa altimétrico colorido do município de Abaetetuba e adjacências, criado a partir de SRTM. (b) Seção mostrando a variação do relevo.	56
Figura 43- Mapa Hipsométrico de Abaetetuba, confeccionado a partir de SRTM.	57
Figura 44- Mapa de declividade do município de Abaetetuba e adjacências, confeccionado a partir de um SRTM.	57
Figura 45- Mapa morfotectônico mostrando as principais variações do relevo da área de estudo.	59
Figura 46- Exemplo de formas de relevo com geometrias losangulares que ocorrem na área. (a) Apresenta orientação NW-SW. (b) e (c) Apresentam orientação NE-SW. Fonte: Google Earth.	59
Figura 47- Mapa morfotectônico do município de Abaetetuba e regiões ao entorno.	61
Figura 48- Seções da área de estudo mostrando a configuração dos blocos estruturais.	61
Figura 49- Mapa dos poços cadastrados no banco de dados do SIAGAS.....	64
Figura 50- Bloco A, esquema mostrando alto valor do gradiente, com a camada guia mergulhando 2 m a cada 25 m na direção SSE.	65
Figura 51- Bloco B, o esquema mostra o mergulho da camada guia para NNE com gradiente da camada mergulhando 2 m a cada 60 m.	65
Figura 52- Bloco C, mostrando o fraco mergulho da camada guia para SW com gradiente 3 m a cada 1900 m.	66
Figura 53- Mapa de prováveis recargas dos aquíferos da região.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Definições de SIG.	22
Tabela 2- Localização das estações meteorológicas analisadas.	26
Tabela 3- Balanço hídrico da região de Belém segundo a metodologia de Thornthwaite, no período de 1961 a 1997.....	27
Tabela 4- Resumo das medidas de lineamentos das zonas homólogas de drenagem do município de Abaetetuba.	47
Tabela 5- Resumo informações dos blocos tectônicos analisados.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

BH - Balanço Hídrico

DEF - Deficiência de Água no Solo

ETP - Evapotranspiração Potencial

ETR - Evapotranspiração Real

EXC - Excedente de Água no Solo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

P-ETP - Saldo Precipitação e Evapotranspiração Potencial

RH - Reserva Hídrica

SIARGAS - Sistema de Informação de Águas Subterrâneas

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TTG – Tonalito Trondhjemitó Granodirito

UNOS - El Niño de Oscilação Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ZH – Zonas Homólogas.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPIÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivos Gerais	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	3
1.4 JUSTIFICATIVA	4
1.5 METODOLOGIA.....	5
2 REVISÃO TEÓRICA	8
2.2 REDE DE DRENAGEM.....	8
2.2.1 Classificação dos Canais de Drenagem	8
2.2.2 Classificação dos Padrões de Drenagem	9
2.2.3 Anomalias de Drenagem	11
2.2.4 Análise da Forma da Rede de Drenagem	12
2.2 NEOTECTÔNICA E TECTÔNICA TRANSCORRENTE	13
2.2.1 Neotectônica	13
2.2.2 Tectônica Transcorrente	17
2.3 GEOPROCESSAMENTO - SIG.....	21
3 ÁREA DE ESTUDO	26
3.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	26
3.1.1 Clima	26
3.1.2 Relevo	29
3.1.3 Vegetação	30
3.1.4 Solos	30
3.2 GEOLOGIA.....	31

3.2.1 Contexto Tectônico	31
3.2.2 Litoestratigrafia	37
4 ANÁLISE DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS	40
4.1 ANÁLISE DA DRENAGEM.....	40
4.2 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS.....	47
4.3 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA.....	55
4.4 ANÁLISE INTEGRADA.....	60
5 ASPECTOS CINEMÁTICOS E GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS	62
5.1 ASPECTOS CINEMÁTICOS	62
5.2 GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS	63
6 GEOPROCESSAMENTO	68
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	70
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICES	77
APÊNDICE A – TABELA DE POÇOS	78
APÊNDICE B – PERFIS CONSTRUTIVOS E SEÇÕES	82

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A água é um bem mineral de grande valor para a vida e de suma importância para o desenvolvimento da sociedade moderna, portanto, é fundamental gerir de forma consciente os recursos hídricos, visando evitar ou amenizar problemas relacionados a contaminação desses recursos ou a falta dele (secas).

As águas superficiais são mais susceptíveis a contaminação por ação antrópica causadas, por exemplo, por fossas sépticas, lixões, descarte inadequado de esgotos e resíduos industriais, necessitando passar por onerosos tratamentos para tornar-se adequada para o abastecimento público. Com isto, os recursos hídricos subterrâneos são uma alternativa eficaz para o consumo, pois apresentam disponibilidade de água potável. Os recursos hídricos, no entanto, não deixam de ser vulneráveis a contaminação, sendo que apresentam um risco bem menor, comparado aos mananciais superficiais. Logo, há uma crescente preocupação em relação ao potencial qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos subterrâneos.

O aumento da demanda por este recurso em Abaetetuba, seja para abastecimento populacional ou industrial, tem aumentado a procura por mananciais subterrâneos, e muitas vezes, estes, são usados de maneira aleatória, sem levar em consideração as características dos locais onde será feita a captação de água, bem como se utilizando de técnicas e equipamentos inadequados.

O crescente uso de mananciais subterrâneos aumentou a necessidade de estudos que forneçam subsídios para preservar e utilizar de maneira racional esses recursos. Porém, grande parte desses estudos não levam em consideração aspectos estruturais da região, especialmente referentes aos efeitos de correntes da atuação neotectônica.

Matta (2002) foi o pioneiro, na região do nordeste do Pará, a considerar a influência neotectônica no arcabouço geométrico dos aquíferos, realizando um extenso estudo dos aspectos hidrogeológicos da região de Belém e Ananindeua. Para o arranjo espacial das camadas dos sistemas aquíferos Pirabas e Barreiras, Matta (*op. cit.*) considera duas hipóteses: (1) atribui um arranjo lenticular para os estratos; (2) presença de falhas normais como manifestação das atividades neotectônicas. Costa (2004) comprovou a influência de atividades neotectônicas na geometria e recarga dos aquíferos dessa região através de uma análise

integrada das características hidrogeologias e estruturais. Trabalhos similares foram feitos por Bandeira (2008), Palheta (2008), Carmona (2013) e Centeno (2016), respectivamente, nas regiões da Ilha de Mosqueiro, bacia hidrográfica do Rio Tauá, Castanhal e Salinópolis.

Diante disto, para que os recursos hídricos subterrâneos sejam explorados de forma racional, o presente trabalho visa contribuir para a definição dos arranjos geométricos dos aquíferos do município de Abaetetuba, propondo um modelo hidrogeológico para a região, a fim de auxiliar a população e governantes na escolha de locais mais adequados para a captação de água, para assim melhorar a qualidade de vida da população.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo do presente trabalho é definir os arranjos geométricos e cinemáticos dos sistemas aquíferos do Município de Abaetetuba, nordeste do Estado do Pará, bem como seus aspectos estruturais relacionados aos eventos neotectônicos ocorridos na área com vistas a melhor entender o comportamento hidrogeológico regional.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Compartimentação da área em blocos estruturais;
- Entendimento dos efeitos estruturais na formação dos aquíferos;
- Propor um modelo hidrogeológico do Município de Abaetetuba a partir dos resultados desse trabalho;
- Estruturar os dados hidrogeológicos em um SIG (Sistema de Informação Geográfica) e compor um banco de dados digital.

1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Município de Abaetetuba (Figura 1) está no localizado no nordeste do Estado do Pará, na Microrregião de Cametá (Ibge 2017), entre as latitudes de 01°31'20"S a 01°57'23"S e longitudes de 48°31'50"W a 49°09'16"W, com 6.110,404 Km² (Ibge 2017).

Segundo a Prefeitura de Abaetetuba (2017), o município conta com 21 aglomerados populacionais, sendo a área urbana composta por 21 bairros.

O acesso, a partir de Belém, se dá pela BR-316 seguido pela PA-483, PA-151 e PA-252. O percurso passa pelos municípios de Ananindeua, Marituba, Acará, Moju e Barcarena, totalizando cerca de 121 Km da capital.

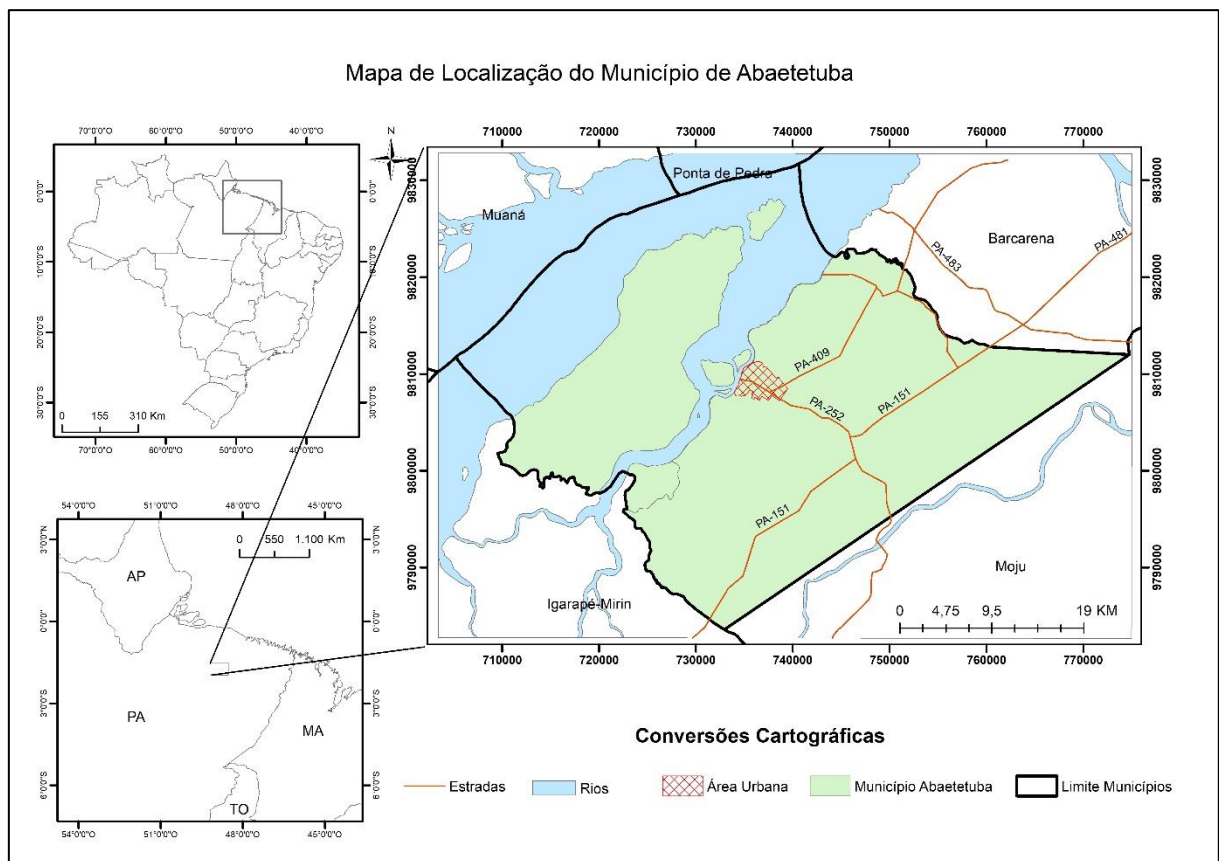


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.

1.4 JUSTIFICATIVA

Atualmente um dos principais assuntos discutidos em fóruns mundiais de lideranças é a água, por ser um recurso natural indispensável à manutenção da vida no Planeta Terra e estar esse recurso fortemente comprometido em algumas regiões. A Terra, apesar de ter a grande maioria de sua área territorial coberta por água, esta vem cada vez mais se exaurindo, em termos de água potável, ou ficando imprópria para o consumo. Apesar da abundância como é o caso da Amazônia, maior reserva de água doce do planeta, a cultura do desperdício e mau gerenciamento deste recurso vêm gerando problemas ainda mais graves como a contaminação do lençol freático devido à falta de saneamento básico nas cidades amazônicas.

As águas superficiais são mais susceptíveis a contaminação ocasionada pela ação antrópica, levando a mesma a tratamentos onerosos para torna-se própria para o abastecimento público, tornando elevado o custo para a população. Por outro lado, as águas subterrâneas estão mais protegidas de contaminação antrópica, portanto, sendo melhor recomendado para o abastecimento público. Rebouças (1994) cita sete razões favoráveis ao uso de águas subterrâneas: (1) as águas subterrâneas são isentas de organismos patogênicos, cor, turbidez, dispensando os processos de purificação exigidos nas águas superficiais; (2) as águas estão mais protegidas de agentes de contaminação e poluição; (3) as águas armazenadas apresentam grandes volumes comparado as águas superficiais; (4) as águas subterrâneas são de difíceis contaminações radioquímicas, sendo está de grande importância estratégica na problemática de segurança nacional; (5) não há perdas por evaporação, portanto, é pouco afetada por períodos de seca; (6) em relação ao abastecimento público, permite o parcelamento dos investimentos, na medida em que evolui a demanda; e (7) pode ser a fonte principal ou complementar no abastecimento público e industrial.

Com o crescimento populacional e industrial (projeto ALBRÁS e ALUNORTE em Barcarena, município vizinho) a demanda por recursos hídricos subterrâneos tem aumentado, por vezes a captação deste recurso é feita de maneira inadequada, sem considerar as características do local de captação de água, e uso de técnicas e equipamentos inadequados.

Desta maneira, o presente trabalho visa apresentar informações hidrogeológicas para que a exploração e utilização deste recurso possa ser feita de maneira racional, e para servir como base para a escolha de locação de poços, tendo em vista melhorar a qualidade de vida da população.

1.5 METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente trabalho está detalhada em ordem cronológica na qual os procedimentos foram executados, relacionando os métodos, técnicas e matérias que foram utilizados no desenvolvimento do trabalho.

Pesquisa Bibliográfica

Nesta fase ocorreu ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, onde realizou-se um estudo sobre a bibliografia especializada, consultando livros, artigos em revistas e periódicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, onde se buscou informações relacionadas às características fisiográficas e geológicas da área, assim como estudos relacionados a neotectônica e hidrogeologia na região e proximidades, de modo a permitir o entendimento do quadro geológico estrutural e hidrogeológico da área em questão, além de obter conhecimento de conceitos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e metodologias que possam ser utilizadas/adaptadas para o mesmo.

Confecção e Análise do Mapa de Drenagem

A extração da drenagem ocorreu por meio da vetorização de cursos de água no *ArcGis* 10.3, através da carta de 1:250.000 produzida pelo IBGE, além de imagens *Geoeye*, *Landsat 8* e da ferramenta *Base Map* do *software*. A análise da drenagem foi feita usando a metodologia de Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982) com os quais se pode identificar e descrever as zonas homólogas de drenagem.

Confecção e análise do mapa de lineamentos

Compreendeu a confecção e análise do mapa de lineamentos gerado a partir de mapas de drenagem da área em conjunto com imagens de radar SRTM. Segundo Palheta (2008), quando a drenagem é controlada pela tectônica, os cursos de água se encaixam nas estruturas,

produzindo feições que podem indicar lineamentos e ser interpretados como traços de fraturas/falhas, representados por feições lineares ou levemente curvilíneas. A direção e o comprimento das feições lineares foram extraídos usando a ferramenta COGO (*ArcGis*), a ferramenta *AzimuthFinder* (*ArcGis*) foi utilizada para atribuir “pesos” ao tamanho dos lineamentos para melhor representação nas rosetas. As rosetas foram geradas a partir do *software OpenStereo*.

Confecção de um mapa morfotectônico

Nesta fase buscou-se associar a análise dos lineamentos de drenagem aos dados do SRTM e *Alos Palsar* a fim de definir unidades de relevo e apresentar a interação deste em um mapa morfotectônico da área estudada. A confecção de um mapa altimétrico, mapa hipsométrico, mapa declividade, imagens *landsat* com fusão pancromática e *Goeye* auxiliaram na identificação dos sistemas e formas de relevo presente na área.

Delimitação dos blocos estruturais e aplicação do Modelo de Riedel

A partir das informações do mapa morfotectônico, pode-se delimitar blocos estruturais utilizando o modelo de Riedel e definir os arranjos geométricos e cinemáticos, identificando as direções de compressão (σ_1) e distensão (σ_3).

Levantamento de informações técnicas

Realizou-se nesta fase a consulta ao banco de dados do SIAGAS (Sistema de Informações de Água Subterrânea), para levantar informações sobre perfis construtivos de poços existente na região, definindo conjuntos que se localizavam em um mesmo bloco tectônico e correlacionando-os, e a partir de uma camada guia, se definiu o sentido e o gradiente do caimento da camada.

Criação de um banco de dados

Nesta fase se fez uso de vários *softwares* para a confecção dos diversos *layers* que foram organizados em um SIG com os dados hidrogeológicos da região (e outros dados disponíveis), além de fazer uso dos mesmos para o tratamento de imagens e os dados vetoriais produzidos durante o trabalho.

Construção da nota explicativa

Correspondeu a fase de elaboração e formatação do texto deste TCC (Trabalho de Conclusão de Curso).

2 REVISÃO TEÓRICA

2.2 REDE DE DRENAGEM

O estudo da rede de drenagem propicia informações relevantes sobre o meio físico do terreno, de grande importância para as áreas de geologia, geomorfologia, pedologia e engenharias, inter-relacionando o clima, pedologia e fitofisionomia, podendo fornecer informações de recursos naturais da região (Lima 2006).

Segundo Costa (2004), a análise das anomalias de drenagens representadas pelo deslocamento dos cursos de água permite identificar a presença de fraturas e movimentação de falhas. De acordo com Lima (2006), a drenagem tem um importante significado na interpretação de produtos de sensoriamento remoto, pois fornece informações significativas sobre o tipo de terreno por onde flui, como estruturas geológicas (feições estruturais em subsuperfície, direções principais das estruturas que controlam determinada área, indicativos de movimentação, etc.) e litologia e propriedades como coesão, massividade, heterogeneidade, porosidade, permeabilidade e solubilidade, entre outros, além de indicar a pendência do terreno e mostrar sua assimetria.

2.2.1 Classificação dos Canais de Drenagem

Segundo IBGE (2009) os canais de drenagem são classificados segundo a sua geometria. Tendo sua sinuosidade relacionado a vários fatores como descarga, fluxo hidráulico, gradiente do terreno, natureza e granulometria dos sedimentos, influência da tectônica, entre outros. Um único rio pode assumir diversas formas em seu percurso, apresentado diversos tipos de canais, de acordo com as combinações dos parâmetros acima. Os principais tipos de canais são: retilíneo, anastomosado, entrelaçado e meandrante (Figura 2).

O canal retilíneo tem ocorrência restrita e, em geral, está fortemente condicionado a uma estrutura tectônica, exibindo, assim, um controle estrutural. Quando ocorrem em planícies de depósitos quaternários, pode ser indicativo de movimentos neotectônicos e são frequentemente interrompidos por feições anômalas (Ibge 2009).

O canal anastomosado está normalmente relacionado à ambientes de leques aluviais, bem como leques deltáicos. Contudo, segundo IBGE (2009), no Brasil, na maioria das vezes esse padrão indica áreas tectonicamente instáveis em regiões deposicionais, como a Bacia Hidrográfica Amazônica.

O canal entrelaçado é caracterizado por um número elevado de barras que migram em função da variação de descarga e do fluxo do rio e por uma variedade de ilhas dispostas longitudinalmente ao longo do curso do rio e recoberta pela vegetação (Lima 2006). De acordo com IBGE (2009), nas planícies amazônicas, o sistema está associado a zonas de transição de unidades geomorfológicas, como planícies e depressões que atravessam altos estruturais.

O canal meandrante tem curvas sinuosas em áreas de gradiente moderadamente baixo. O canal é mantido pela erosão do lado convexo e deposição do lado côncavo, mostrando perfil transversal assimétrico em função disto (Lima 2006).

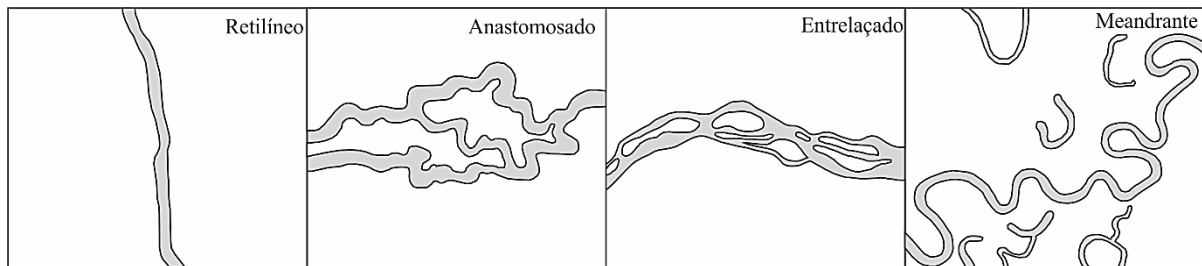


Figura 2- Cursos de Drenagem. Fonte: Modificado do Riccomini *et al.* (2000).

2.2.2 Classificação dos Padrões de Drenagem

Regionalmente, as redes de drenagem são definidas por padrões básicos utilizando-se para isso, como critério, a geometria da disposição espacial dos rios e seus afluentes, sem conotação genética. Os tipos básicos de padrões de drenagem, segundo Howard (1967) são apresentados a seguir (Figura 3).

O padrão dendrítico é o mais comum. Os canais distribuem-se em todas as direções sobre a superfície e se unem formando ângulos agudos com graduações variadas, porém sem chegar ao ângulo reto, se assemelhando a ramificações de uma árvore. Desenvolve-se sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontalmente, e em áreas de baixa declividade com erosão uniforme.

O padrão paralelo é caracterizado por cursos de água que fluem quase paralelamente uns aos outros. Desenvolve-se em áreas com declividade acentuada, forte controle estrutural, ou quando o relevo da área acompanha o declive regional.

O padrão retangular consiste em arranjos geométricos bem definidos com canais retilíneos e confluência com ângulos retos ou quase com os cursos de água principais, conformando cotovelos. Este padrão evidencia arranjo estrutural na área, sendo associada a ambientes que sofreram intensos processos de deformação, em áreas de rochas sedimentares inclinadas ou falhadas, ou em rochas de baixo grau metamórfico.

O padrão treliça apresenta bruscas mudanças em ângulo reto nos cursos fluviais, refletindo a influência exercida por falhas ou sistemas de diaclasamentos. Desenvolve-se em áreas fraturadas ou talhadas em ângulo reto.

O padrão radial é composto de canais dispostos como raios em relação a um ponto central. Podem ocorrer em duas situações: quando as correntes dos canais divergem a partir de um divisor central é chamado de *centrífugo*, como ocorrem em altos estruturais, cones vulcânicos, corpos intrusivos ou outras estruturas circulares; e quando os canais convergem para um ponto central da sub-bacia é chamado de *centrípeto*, como ocorrem em uma área deprimida, dolina ou cratera vulcânica.

O padrão anelar é formado por anéis concêntricos de cursos de água. Esse padrão ocorre tipicamente em áreas dômicas profundamente entalhadas em estruturas formadas por camadas de diferentes graus de resistência à erosão.

O padrão multibasinal é caracterizado pela ausência de orientação. Ocorrem em áreas com zonas de erosão e deposição glacial, eólica, cárstica, vulcânicas recentes e em locais de deslizamento.

O padrão contorcido apresenta um grosso bandamento de geometria contorcida, sugerindo a presença de dobras com terminações periclinais, geralmente associadas a rochas metamórficas, ou mesmo a rochas sedimentares dobradas.

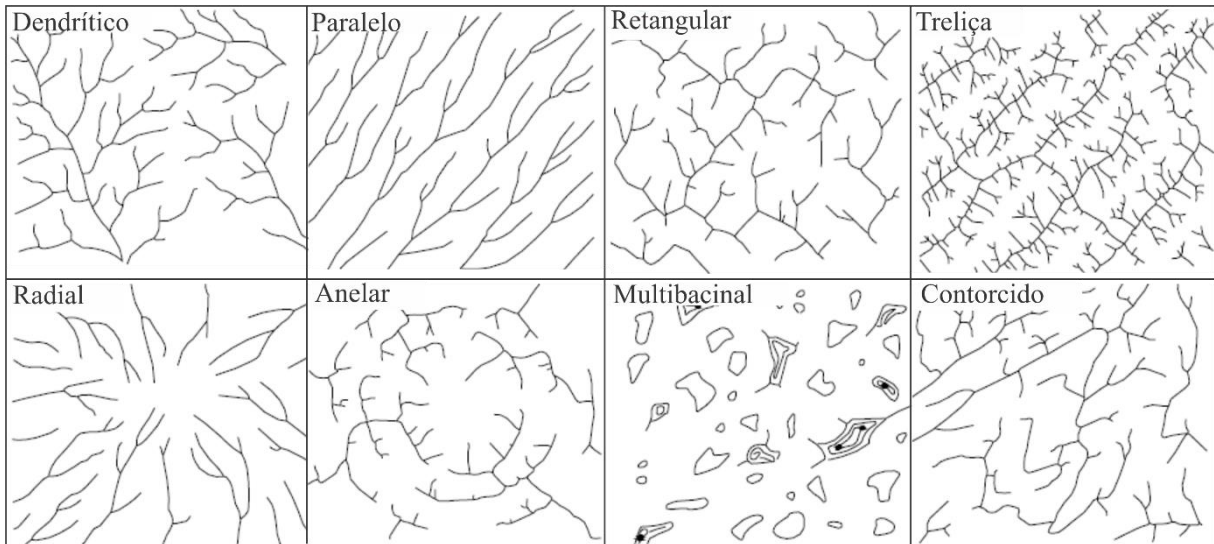


Figura 3- Padrões básicos da rede de drenagem definida pelo Howard (1967). Fonte: Modificado de Howard (1967).

E ainda, de acordo com Howard (1967), outros padrões de drenagem surgem a partir das modificações dos padrões básicos descritos anteriormente.

2.2.3 Anomalias de Drenagem

De acordo com IBGE (2009), as drenagens dispostas sobre depósitos terciários e quaternários podem apresentar feições peculiares, marcadas pela alternância dos padrões de drenagem e dos tipos de canais, geralmente associados a movimentações neotectônicas.

Howard (1967) define a anomalia de drenagem como um desvio local na drenagem regional e/ou padrão de fluxo que em outros locais está de acordo com a estrutura regional conhecida e/ou topografia. Disso decorre então, que o padrão esperado, em função desses condicionantes é considerado como norma e os desvios como anomalias, sugerindo desvios estruturais ou topográficos no plano regional. Muitas vezes, as anomalias são representadas por padrões compostos como padrão radial ou anelar dentro do padrão dendrítico, ou padrão dendrítico com influência do padrão treliça (Figura 4).

O mesmo autor destaca como anomalias a presença de feições como retilinearidade, aparecimento abrupto e localizado de canais entrelaçados ou meandros, meandros comprimidos, estreitamento de vales ou canais, largura anômala de diques (*levees*), diques isolados, curvas anômalas e, lagos, pântanos ou enchentes aluviais anômalas (Figura 4).

A retilinearidade dos cursos de drenagem geralmente está associada a fraturas. O aparecimento abrupto e localizado de canais entrelaçados ou meandros, meandros comprimidos, estreitamento de canais ou vales estão associados a presença de altos estruturais. A largura anômala de diques e os lagos, pântanos e enchentes aluviais anômalas estão relacionadas a subsidência. A preservação de fragmentos de diques isolados pode estar associada com características estruturais de subsuperfície (Howard 1967, Lima 2006).

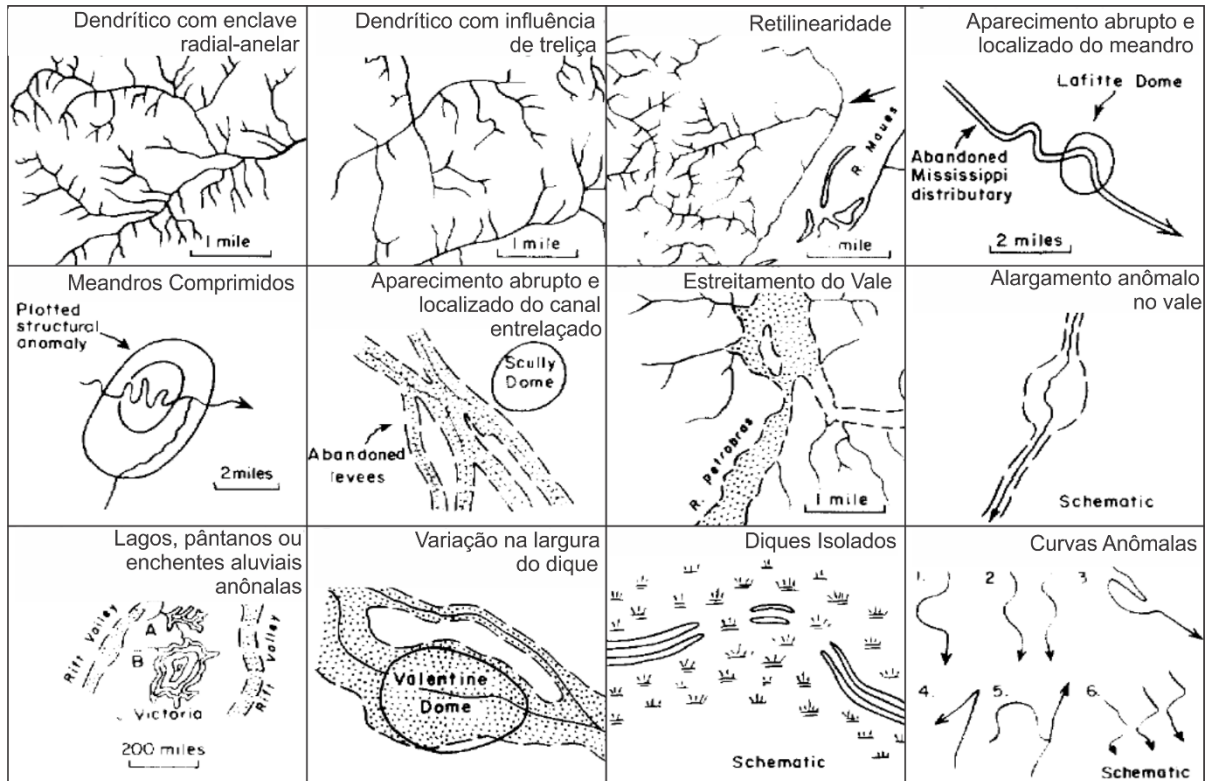


Figura 4- Feições características de anomalias na drenagem. Fonte: Modificado de Howard (1967).

2.2.4 Análise da Forma da Rede de Drenagem

Segundo Soares & Fiori (1976), existem seis propriedades importantes a serem descritas na análise da drenagem (Figura 5): a) densidade: quantidade de elementos de drenagem em uma determinada área. Mudanças bruscas podem indicar controles estruturais ou mudança litológica; b) sinuosidade: comportamento predominantemente curvo, retilíneo ou misto do conjunto dos elementos de drenagem. Feições de drenagem retilíneas ou em arcos podem indicar uma zona de fraturamento; c) angularidade: ângulo de confluência dos elementos de drenagem, pode ser alto (maior de 120°), médio (entre 60° e 120°) e baixo (menor que 60°); d) tropia: propriedade dos elementos que se desenvolveram segundo uma ou

mais direções, podendo ser caracterizados como, unidirecional, bidirecional, tridirecional e multidirecional (isótropa); e) assimetria: presença de elementos com tamanho ou estrutura sistematicamente diferentes, de um lado e de outro, de uma certa drenagem de referência. Segundo Bezerra (2003), pode indicar movimentação vertical de bloco, com o canal principal localizado na falha, os tributários menores no bloco soerguido e os maiores no bloco abatido; e formas anômalas (descritas no item anterior).


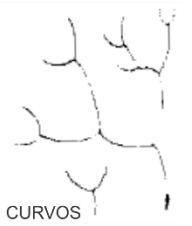





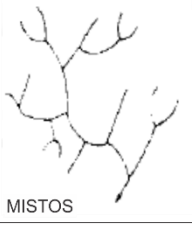

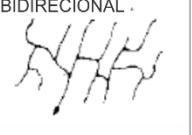



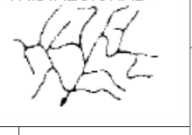
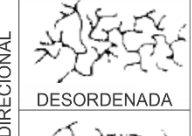


DENSIDADE	SINUOSIDADE	ANGULARIDADE	TROPIA	ASSIMETRIA	FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	ALTA 	UNIDIRECIONAL 	FRACA 	 MEANDRO ISOLADO
 MÉDIA	 MISTOS	MÉDIA 	BIDIRECIONAL 		
		 BAIXA	 RETILÍNEOS	BAIXA 	TRIDIRECIONAL 
MULTIDIRECIONAL DESORDENADA 	ORDENADA 				 COTOVELOS

Figura 5- Critérios de classificação da rede de drenagem. Fonte: Modificado de Soares & Fiori (1976).

2.2 NEOTECTÔNICA E TECTÔNICA TRANSCORRENTE

2.2.1 Neotectônica

Inicialmente, o termo “neotectônica” foi empregado por Obruchev¹ (1949) *apud* Saadi (1993) para definir movimentos da crosta terrestre que se instalaram a partir do Terciário Superior (Mioceno e Pleistoceno) e chegaram ao Quaternário, contribuindo para a formação da topografia contemporânea.

¹ Obruchev V.A. 1948. Osnovnyje verty kinetiki i plastiki neotectoniki. *Izvetia Academia Nauk SSSR*, (Serie Geologia, v.5).

Segundo Saadi (1993), os estudos do efeito da neotectônica, tanto na arquitetura das feições geológicas quanto na elaboração das feições geomorfológicas, adquiriram caráter de enfoque específico na área das geociências, portanto, assumindo várias definições colocadas em função da especificidade dos contextos geotectônico e morfoclimáticos, porém não muito diferenciada da proposta por Obruchev. Neste contexto, em 1978 a Comissão de Neotectônica da Associação Internacional de Estudos do Quaternário (INQUA) definiu os movimentos neotectônicos como “quaisquer movimento ou deformação do nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica independente da sua idade”, (Saadi 1993, p. 2) visto que a delimitação do intervalo de ocorrência da neotectônica é incerto, pois as fases neotectônicas iniciaram-se em diferentes épocas em diferentes lugares, dependendo do regime tectônico de atuação (Morner² 1990 *apud* Costa 2004).

Hasui (1990) destaca duas possibilidades quanto ao tempo geológico da neotectônica no Brasil: inclusão de todos os processos relacionados a abertura do Atlântico até o período atual (remontando ao Triássico ou até mesmo Permiano); ou inclusão apenas dos processos relacionados ao pós-clímax da abertura do Atlântico, remontando a meados do Terciário (Mioceno). Ainda segundo o mesmo autor, a segunda alternativa seria a mais correta, pois a movimentação ainda é vigente com movimentação em ambiente de intraplaca.

Costa *et al.* (1996) considera que o início da neotectônica na Amazônia ocorreu no Mioceno/Pleistoceno, após um estágio de estabilidade tectônica, sendo marcado por um conjunto de estruturas e sequências sedimentares, além da distribuição dos elementos principais das bacias de drenagens (padrões de rede drenagem e canais) e sistemas de relevo, desenvolvidos do Mioceno até o Recente. Tais processos, estão relacionados a rotação da Placa Sul-Americana de leste para oeste, devido a atuação de um binário dextral E-W, imposto pela rotação, com componentes transpressivo NW-SE e transtensivo NE-SW, reativando diversas falhas, além de desenvolver outras, tendo participação no atual traçado da drenagem (Costa & Hasui 1991).

Segundo Hasui (1990), o desenvolvimento de estruturas neotectônicas depende do quadro estrutural da região, ou seja, da orientação e geometria das estruturas pré-existentes, e regime tectônico. As estruturas mais estudadas, segundo Stewart & Hancock³ (1994) *apud*

² Morner N. A. 1990. *Neotectonics and Structural Geology*; general introduction. Bull. Int. Quat. Ass. Neotect.Comm. 13,87.

³ Stewart L.S. & Hancock P.L. 1994. Neotectonics. In: Hancock P.L (Ed). *Continental Deformation*. Pergamon Press, p. 370 – 409.

Costa (2004), são falhas e juntas pois marcam o primeiro estágio da deformação, essas estruturas são restritas ao nível crustal superior sendo, portanto mais propenso a processos erosivos, e comumente tem seus registros “apagados” com o desenvolvimento da movimentação.

A propagação e acomodação da movimentação de massa ao longo de diversos planos definem a geometria e a arquitetura de falhas neotectônicas. A movimentação ocorre em diversos planos que compõe uma zona de falha, apresentando arranjo anastomosado e interconectado (Figura 6a). As falhas ativas são caracterizadas por mudanças de orientação (ex. curvaturas ou *bends*) e continuidade da geometria (ex. pode ser interrompida por ramos segmentados, dividindo-se em dois ou mais traços). Portanto, a deformação neotectônica depende diretamente da segmentação da falha (mudança de padrão geométrico e taxa de movimentação) (Stewart & Hancock 1994 *apud* Costa 2004). As formas dos segmentos ou das curvaturas podem indicar estruturas de dilatacionais (brechas de implosão) e compressionais (brecha de compressão), brechas de atrito se formam quando a concentração de deformação ocorre ao longo de uma superfície contínua de falha (Figura 6b). Lineação de estiramento e estrias contidos no plano de falha indicam a cinemática do movimento, diferentes episódios de movimentação no plano de falha podem formar várias gerações de estrias com diferentes orientações, mas as lineações em grande escala podem ser um elemento inerente ao plano de falha, servindo como registro do vetor estiramento (σ_3) (Stewart & Hancock 1994 *apud* Costa 2004).

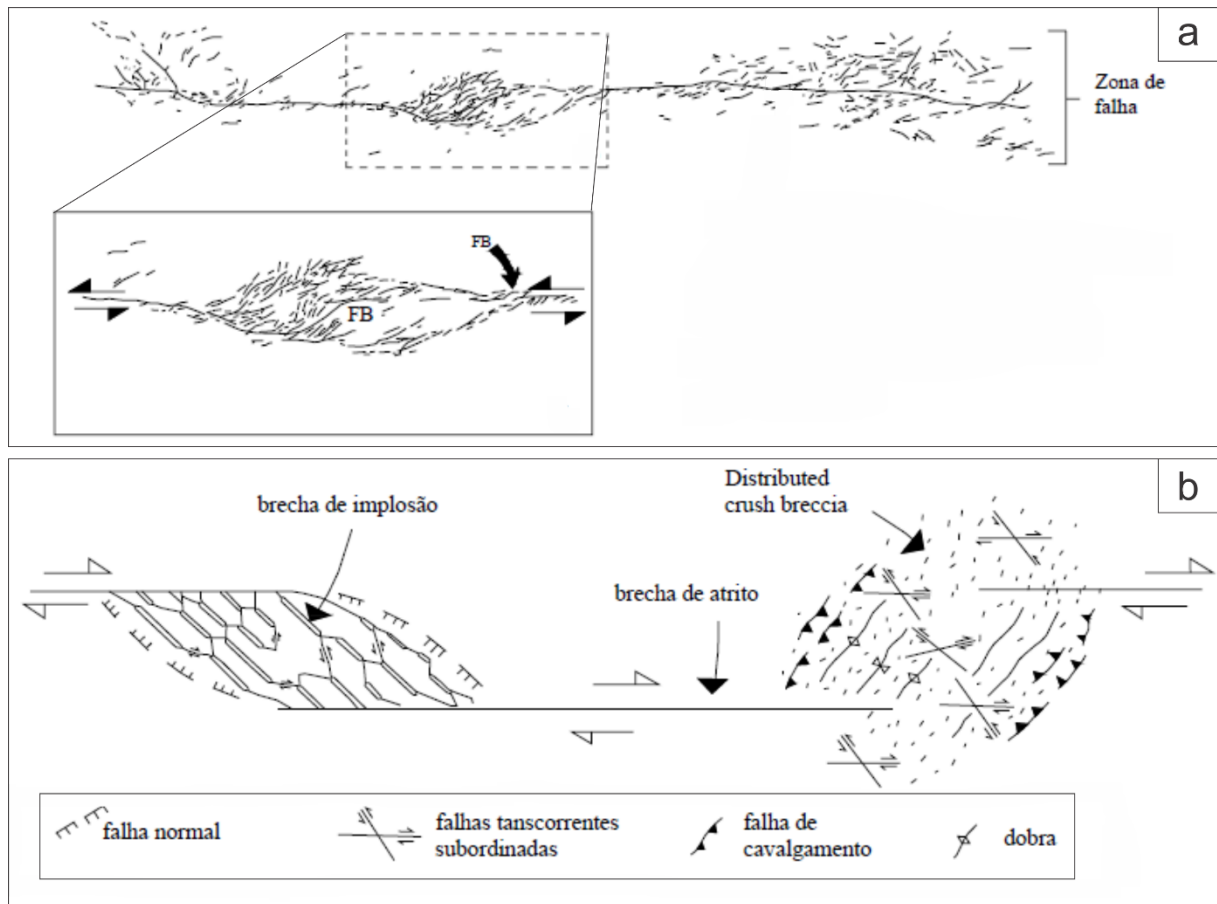


Figura 6- (a) Fraturas associadas ao terremoto em Dansht e Bayaz (Irã) de 1968, ressaltando o caráter descontínuo da falha, no quadro em destaque mostra a invariabilidade do padrão das rupturas com o encurvamento (FB) ocorrendo ao longo de falhas em escalas constantes. (b) Padrões de fratura ao longo de um segmento de uma falha direcional. As separações dilatacionais são caracterizadas pela ocorrência de brechas de implosão, falhas normais e direcionais subsidiárias. As separações antidilatacionais são caracterizadas pela ocorrência de brechas de explosão, cavalgamentos, dobras e falhas direcionais subordinadas. Ao longo do plano de falha principal ocorre a formação de brechas de atrito. Fonte: modificado de Stewart & Hancock (1994) *apud* Costa (2004).

As juntas são consideradas estruturas neotectônicas quando são mais novas na área e afetam rochas depositadas desde a implantação da fase neotectônica, também podem ocorrer em rochas com idade mais antigas, porém, intervalo de tempo entre a acumulação da sequência e a implantação da deformação pode ser muito amplo para serem estabelecidas relações estratigráficas seguras. Os principais atributos de um sistema de juntas tectônicas são: pertencem a redes geometricamente simples de conjuntos de fraturas de extensão ou fraturas híbridas conjugadas, ambos dominados por um conjunto de fraturas verticais sistemáticas (Figura 7); não é comum a exposição de veios paralelos às juntas neotectônicas, sugerindo que a pressão de fluido dificilmente alcança os altos valores necessários para o seu desenvolvimento; e raramente cortam camadas incompetentes.

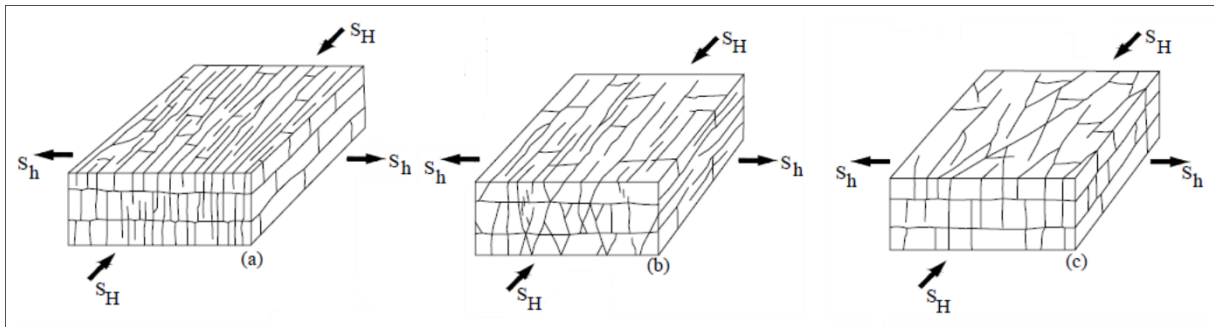


Figura 7- Sistemas característicos de juntas neotectônicas. (a) Conjunto simples de juntas sistemáticas verticais de extensão ligado por juntas não sistemáticas. (b) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas íngremes ligados por juntas não sistemáticas. (c) Espectro de juntas verticais de extensão e juntas híbridas ligado por juntas não sistemáticas. Legenda: SH – Maior tensão horizontal; Sh – Menor tensão horizontal. Fonte: modificado de Stewart & Hancock (1994) *apud* Costa (2004).

2.2.2 Tectônica Transcorrente

A movimentação transcorrente pode ser gerada tanto por cisalhamento puro (ou coaxial) quanto por cisalhamento simples (não coaxial) (Fossen 2012).

Na deformação por cisalhamento puro (Figura 8a), duas falhas direcionais, dextral e sinistral, se desenvolve formando um par conjugado simétrico (fraturas de cisalhamento C e C'), com σ_2 formando um ângulo de 30° a σ_1 . Associada as fraturas C e C', desenvolvem-se fraturas de partição T e T' perpendiculares a σ_3 e contêm os eixos σ_1 e σ_2 , frequentemente, também ocorrem fraturas de partição perpendiculares a σ_1 , contendo σ_2 e σ_3 , atribuídas à descarga das tensões. Na continuidade da deformação, as fraturas de cisalhamento permitirão deslocamentos relativos dos blocos, constituindo as falhas ou zonas de cisalhamento rúptil. (Hasui & Costa 1991).

Na deformação por cisalhamento simples (Figura 8b) também se desenvolvem as fraturas de partição (T) e as fraturas sintéticas ou de Riedel (R), fraturas antitéticas ou conjugada de Riedel (R'), sintéticas secundárias (P), Y ou D, e X (Hasui & Costa 1991). As fraturas R e R' são simétricas em relação a T com um ângulo RT ou R'T igual a 30° . A fratura P é simétrica a R, com ângulo agudo de $\phi/2$ com a direção do binário e mesmo sentido de movimentação. A fratura Y ou D é paralela à direção do binário e mesmo sentido de movimentação relativa, e X que faz ângulo agudo $90^\circ - (\phi/2)$ com a direção do binário e possui mesmo sentido de movimentação relativa. Essas fraturas podem formar famílias e sistemas de juntas as de cisalhamento e tentem a evoluir para zonas de cisalhamento (Hasui & Costa 1991).

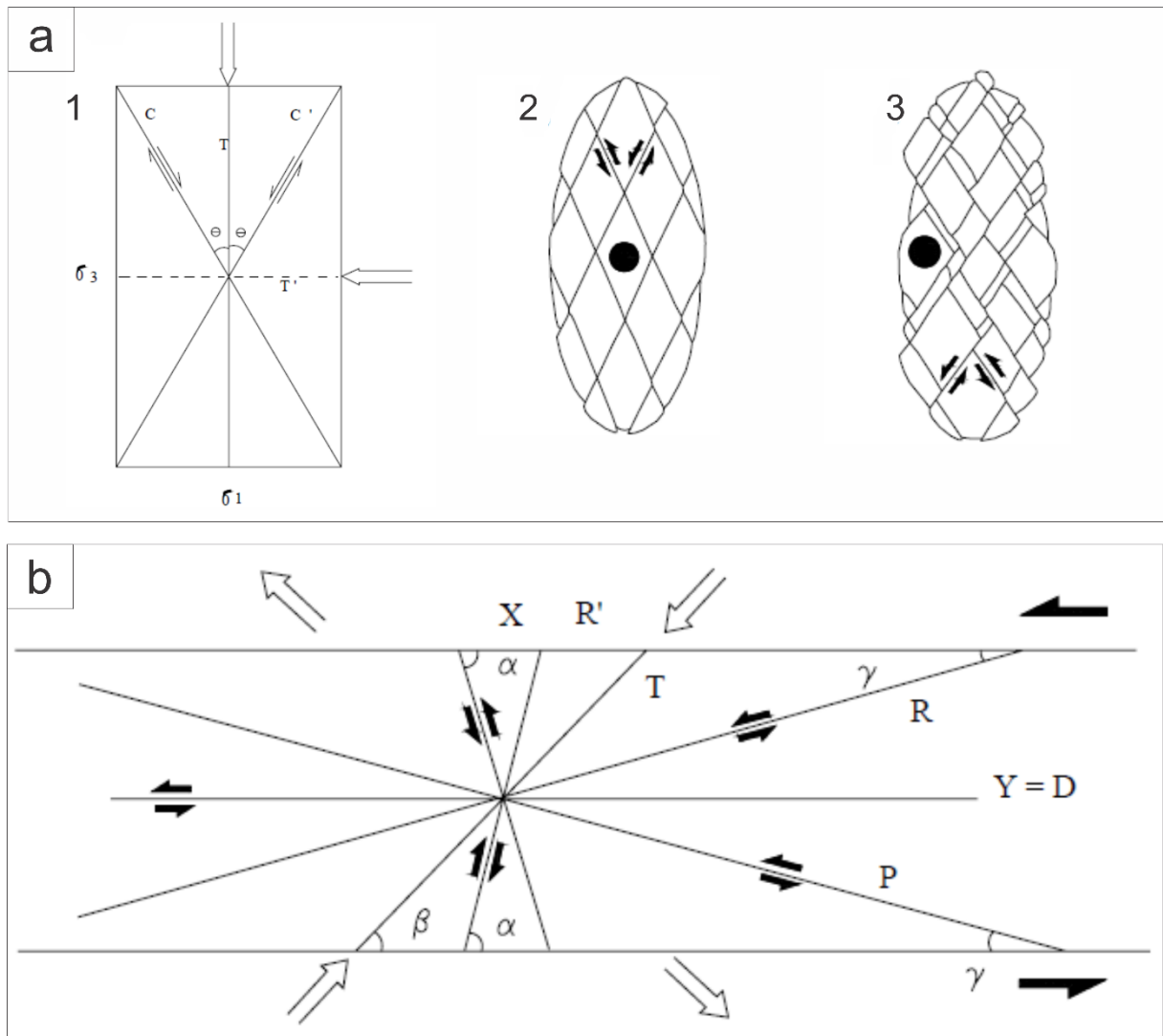


Figura 8- (a) Fraturas em regime coaxial. 1 - C e C' são as fraturas de cisalhamento conjugado, fazendo ângulo θ com σ_1 . T é fratura de partição e T' é outra que pode aparecer. 2 - fraturas de cisalhamento de um elipsoide deformado. 3 - fraturas de cisalhamento de um elipsoide deformado com arrastos. (b) Descontinuidades formadas na deformação não coaxial. Os ângulos são $\alpha = 75^\circ$ $\beta = 45^\circ$ $\gamma = 15^\circ$ (considerando o ângulo de atrito interno de 30°). R, P, X e Y (D) têm movimentos sinistrais em binários sinistrais. As flechas indicam as direções de estiramento e encurtamento. Fonte: Modificado de Hasui & Costa (1991).

Experimentos feitos em argilas mostrou que as primeiras estruturas desenvolvidas são dobras e descontinuidades R, seguidos de descontinuidades P. Com o avanço da deformação o movimento é concentrado numa estreita zona de deslocamento principal (Hasui & Costa 1991). A presença de estruturas pré-existente ou anisotropia no meio influencia diretamente no desenvolvimento de transcorrências, resultando em variações no estilo de estruturas. Nos sistemas transcorrentes, a principal característica geométrica é a presença de curvaturas e descontinuidades nos segmentos, a interação entre os segmentos de falha forma estruturas

romboédricas, com cinemática e sobreposição e espaçamento entre falhas moldando a geometria (Figura 9) (Christie-Blick & Biddle⁴ 1985 *apud* Costa 2004).

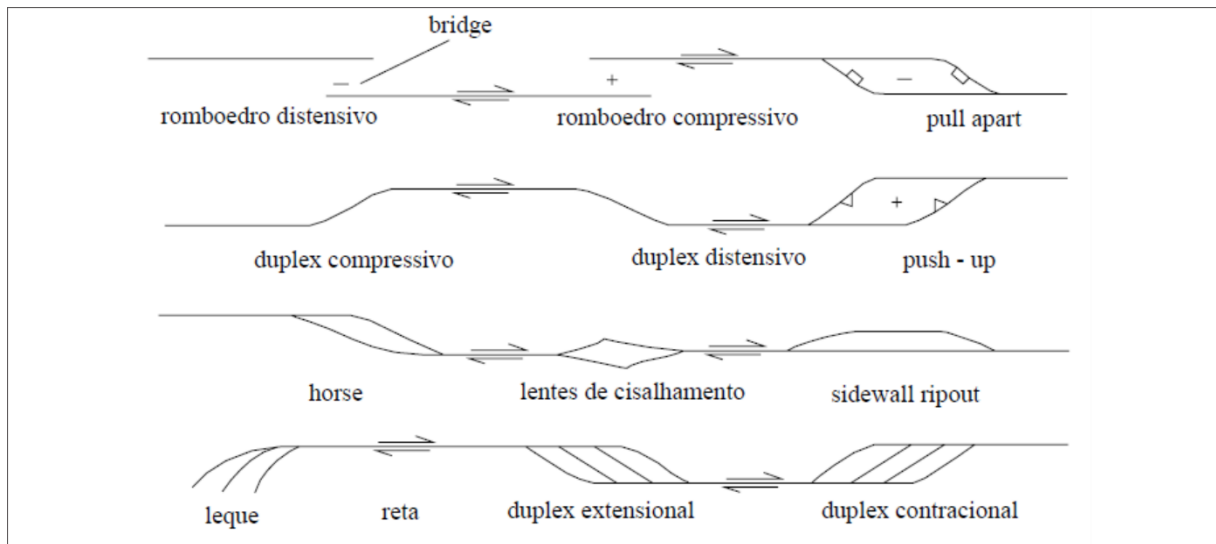


Figura 9- Tipos de estruturas ao longo de falhas transcorrentes. Fonte: Stewart & Hancock (1994) *apud* Costa (2004).

Com progressão da deformação em meio heterogêneo, as transcorrências acomodam muita rotação ao redor de um eixo vertical (Figura 10), mudando de caráter (ex. fratura de distensão passando para zona de cisalhamento), resultando em deformação finita complexa, dependente da magnitude do deslocamento e do estágio de formação de cada feição envolvida. As anisotropias pré-existentes ou que vão se desenvolvendo são importantes na configuração da geometria do sistema transcorrente. Muitas zonas transcorrentes podem ter registros de reativações em várias épocas, inclusive com outros tipos de movimentação (Hasui & Costa 1991).

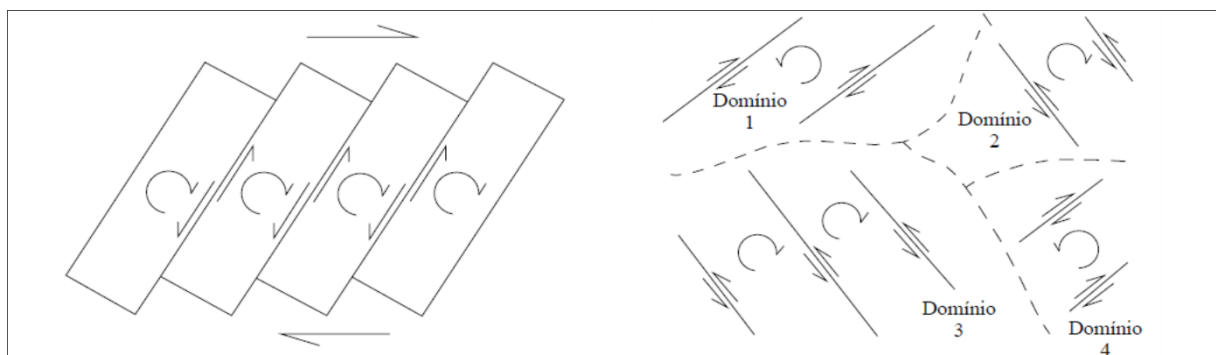


Figura 10- Vistas em mapa de blocos rotacionados por um binário dextral e as estruturas dominantes. Fonte: Modificado de Woodcock & Schubert (1994) *apud* Costa (2004).

⁴ Christie-Blick N. & Biddle K. T. (1985). Deformation and basin formation along strike-slip faults. In: Biddle K. T. & Christie-Blick N. (Ed). *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, (Special publication, 37) : 1-34.

O estilo transcorrente é marcado regionalmente por feições de estiramento e encurtamento, desnivelamento de bloco, rápida e variada sedimentação, pouco ou nenhum magmatismo, fraco metamorfismo e divergência diversamente orientada das dobras e empurrões. As zonas transcorrentes não aparecem isoladas, mas em sistemas, com geometrias variadas (Figura 11a). Os traços das zonas transcorrentes de uma família podem ter disposições espaciais regulares (Figura 11b).

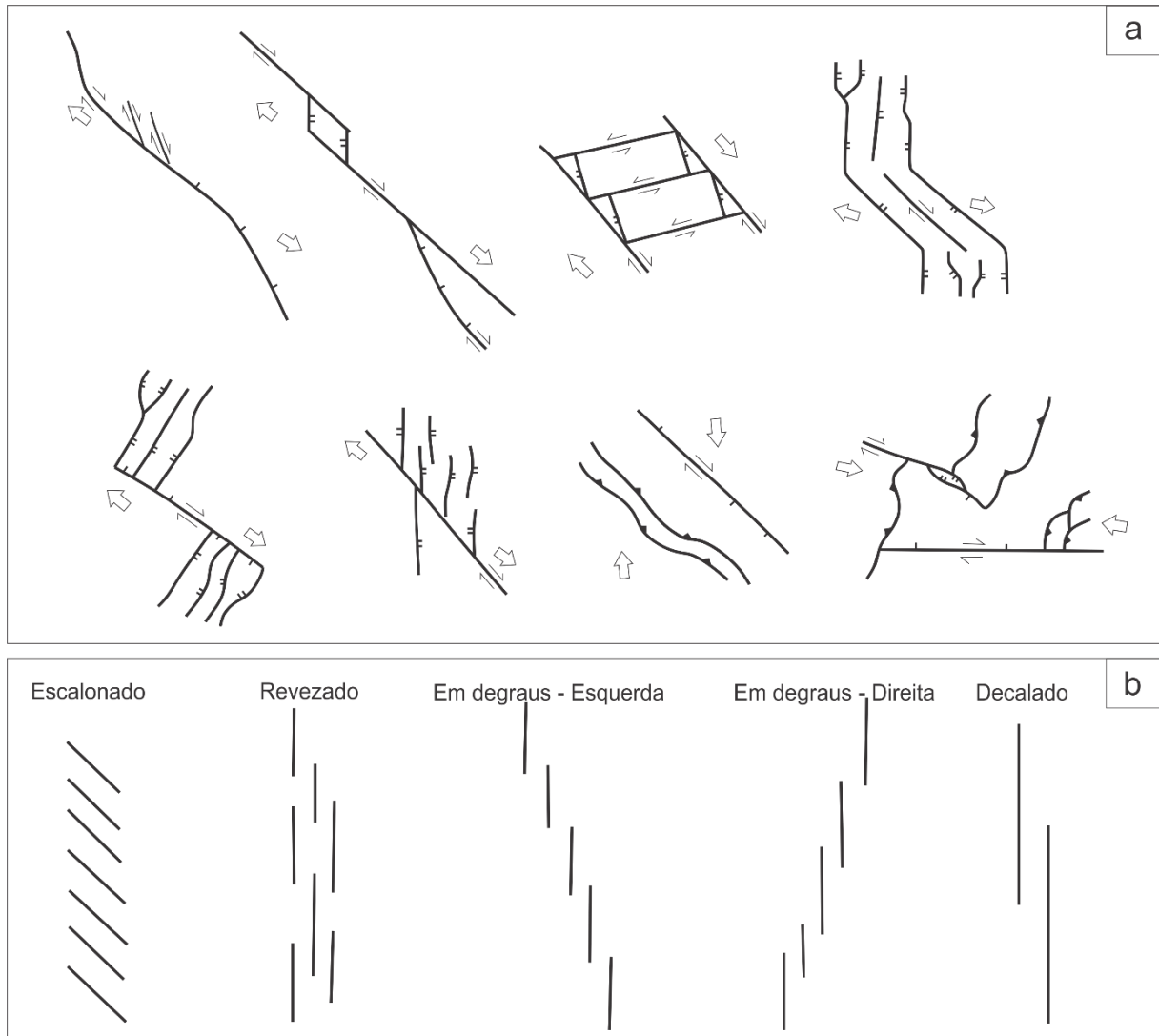


Figura 11- (a) Sistemas transcorrentes. Os exemplos esquematizados são do tipo mais comuns e foram desenhados em padrão dextral. A escala é variável e um tipo pode aparecer como secundário em outro. As setas maiores indicam os movimentos dos blocos. Legenda: dupla seta – transcorrente; dentes – empurrão; pequenos traços duplos – normal. Pequenos traços finos agregados às falhas transcorrentes indicam componentes de rejeito de mergulho. (b) Padrões de sistemas de falhas transcorrentes. Fonte: Modificado de Hasui & Costa (1991).

A principal característica fisiográfica das falhas transcorrentes ativas ou recentes é a linearidade topográfica registrada no sistema de relevo, as feições associadas são: vales lineares encaixados no traço da falha, deslocamentos de colinas, deflexões de canais em ângulo oblíquo, deslocamento de drenagem por falha, drenagens obstruídas, depressões locais

formando pequenos lagos, escarpas deslocadas verticalmente e escarpas paralelizadas (Sylvester 1988). Vários indicadores de natureza neotectônica são descritos por Cooke & Doornkamp (1974) para auxiliar a caracterização das falhas, destacando, dentre eles, a evidência de deslocamento de canais e bloqueio da drenagem, pois tem maior potencial de preservação.

Arranjos *echelon* de falhas, fraturas e dobras (Figura 12) são comuns em sistemas transcorrentes, assim como o desenvolvimento, aparentemente simultâneo, de estruturas de estiramento e encurtamento, planos de falhas horizontais, e os sentidos de separação variáveis nas falhas próximos a superfície que se juntam em profundidade em direção a falha principal (Sylvester 1988). Em perfil, a geometria das falhas transcorrentes é caracterizada por segmentos retilíneos verticais e curvos, formando diversos arranjos. A lineações de estiramento e mineral exhibe disposição horizontal e sub-horizontal, porém, em áreas transpressivas e transtensivas podem alcançar até 50° de mergulho (Sylvester 1988).

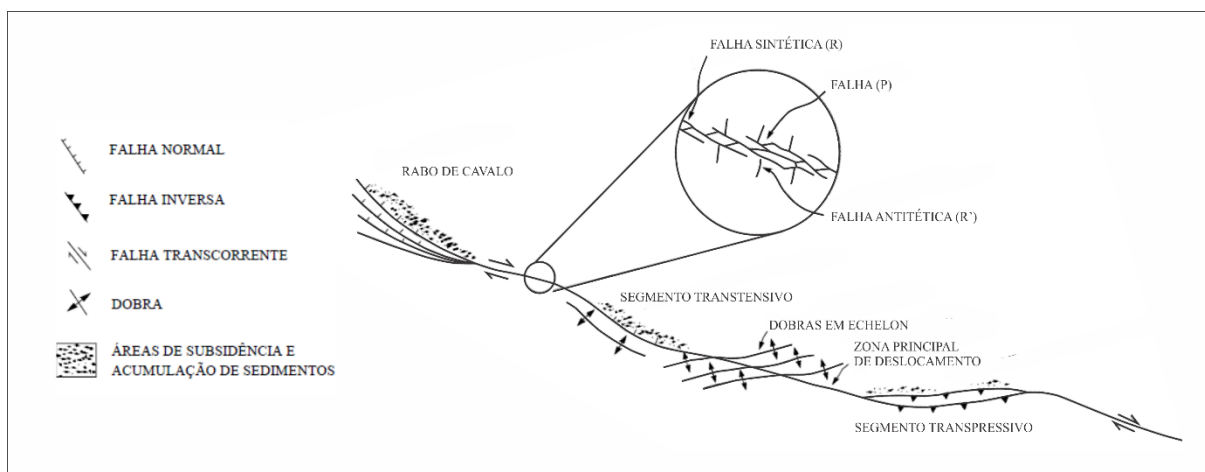


Figura 12- Arranjo espacial visto em mapa das estruturas associadas a uma falha transcorrente idealizada. Fonte: Modificado de Ferreira Jr. (1996).

2.3 GEOPROCESSAMENTO – SIG

O geoprocessamento faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema de sensor. Tem sido empregado em diversas áreas da ciência como geologia, geografia, cartografia, e também contribui para o planejamento urbano e rural, meios de transporte, comunicação e energia (Moreira 2007).

As ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento compõem um conjunto denominado de Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou GIS (*Geographic Information System*) (Moreira 2007). O termo SIG é aplicado para sistemas que realizam tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações com base nas características alfanuméricas e localização espacial. Esse sistema oferece uma visão inédita do ambiente de trabalho, disponibilizando informações de um determinado assunto e inter-relacionando com base no que lhes é fundamentalmente comum, a localização geográfica. Para isto, a geometria e os atributos devem estar georreferenciados e representados numa projeção cartográfica (Câmara & Queiroz 2001).

Há várias definições de SIG na literatura, a tabela 1 reúne algumas definições separadas em duas categorias: ferramentas e base de dados espaciais.

Tabela 1- Definições de SIG.

(a) Definições do SIG baseado na qualidade como ferramenta:

“um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, fácil recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real” (Burrough 1986).

“um sistema para captura, armazenamento, checagem, manipulação, análise e exibição de dados que são espacialmente referenciados” (Department of Environment⁵ 1987)*

“uma ferramenta para a integração e análise de dados referenciados geograficamente” (MAGUIRE 1991)^{6*}

(b) Definições do SIG baseado na qualidade como base de dados:

“um sistema de base de dados no qual a maioria dos dados está indexada espacialmente e sobre os quais um elenco de procedimentos é operacionalizado, com a finalidade de responder perguntas sobre entidades espaciais na base de dados” (Smith⁷ *et al.* 1987)*.

“qualquer conjunto de procedimentos de forma manual ou computacional, utilizado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados” (Aronoff⁸ 1989)*.

Fonte: Modificado de Hamada & Gonçalves (2007). Obs.: (*) *apud* Hamada & Gonçalves (2007).

Essas definições refletem a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. No geral, os SIGs apresentam duas características principais: permite inserir e integrar, numa única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes (cartografia,

⁵Department of the Environment 1987. *Handing geographic information: the report of the government's Committee of Enquire*, London, Department of Environment.

⁶ Maguire D. J. 1991. *An overview and definition of GIS*. Geographical information systems: Principles and applications, 1, 9-20.

⁷ Smith T. R., Peuquet D. J., Menon S., Agarwal P. 1987. *KBGIS-II: a knowledge-based geographic information system*. International Journal of Geographic Information Systems, v. 1, n. 2, p. 149-172.

⁸ Aronoff S. 1989. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 295p.

imagens de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de rede e de MTN – Modelo Numérico de Terreno); e oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados (Câmara & Queiroz 2001).

A estruturação de um SIG, em uma visão abrangente, é constituída por cinco componentes independentes: interface, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, e banco de dados geográficos (Figura 13), uns aos outros através de funções específicas.

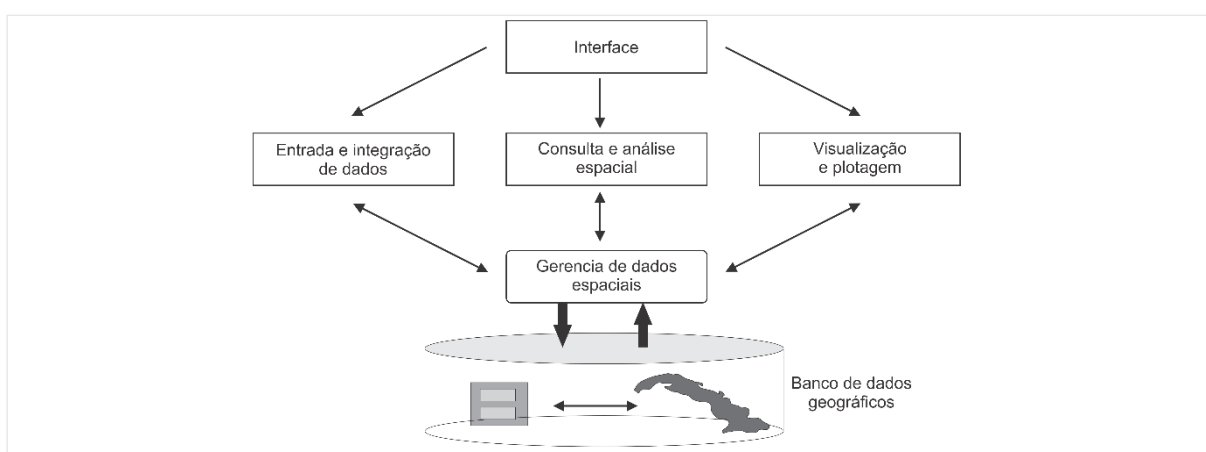


Figura 13- Estruturação geral de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Fonte: Câmara & Queiroz (2007).

Segundo Câmara & Queiroz (2001), há uma relação hierárquica entre esses componentes, onde, a interface representa o nível mais próximo ao usuário e define como o sistema é operado e controlado, o nível intermediário corresponde aos mecanismos de processamentos de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída), e no nível mais interno há o armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos através de um sistema de gerencia de bancos de dados geográficos.

As funções do processamento de um SIG, de forma geral, operam sobre os dados em uma área de trabalho em memória principal. Os dados geográficos e as funções do processamento do SIG são ligados por um mecanismo de seleção e consulta que definem as restrições sobre o conjunto de dados (Câmara & Queiroz 2001).

O entendimento do processo de traduzir o mundo real para o ambiente computacional utiliza o paradigma dos quatro universos de Gomes & Velho⁹ (1995) citado em Câmara &

⁹ Gomes J. M. & Velho L. 1995. *Computação Visual: Imagens*. Rio, SBM.

Medeiros (1998), o qual distingue o universo do mundo real, universo matemático, universo de representação e universo de implementação (Figura 14).

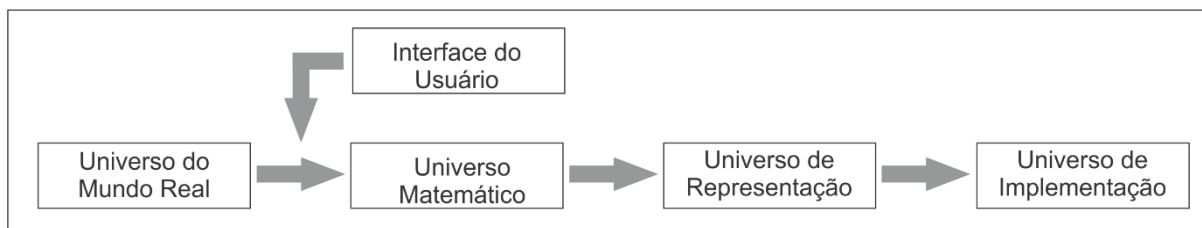


Figura 14- Modelo esquemático do paradigma dos quatro universos. Fonte: Câmara & Medeiros (1998).

No universo do mundo real, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema, encontra-se os fenômenos a serem representados (tipo de solo, cadastro rural e urbano, dados geofísicos e topográficos) (Câmara *et al.* 1998).

No universo matemático (conceitual), que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a ser representadas. Neste pode-se distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e especializar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto) (Câmara & Medeiros 1998).

No universo de representação é onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador, as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado. Neste universo se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas (Câmara & Medeiros 1998).

O universo de implementação é onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação. Ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação. Neste universo, escolhem-se as estruturas de dados (tais como árvores quaternárias e árvores-R) para implementar as geometrias do universo de representação (Câmara & Medeiros 1998).

Segundo Câmara & Medeiros (1998), as dicotomias tradicionais de Geoprocessamento (campos-objetos e matricial-vetorial) podem ser resolvidas com base nessa visão a respeito dos quatro paradigmas, mostrando que elas se encontram em níveis distintos de abstração. E ainda, esta análise indica que a interface de usuário de um SIG deve, tanto quanto possível, refletir o universo conceitual e esconder detalhes dos universos de representação e

implementação. No nível conceitual, o usuário lida com conceitos mais próximos de sua realidade e minimiza a complexidade envolvida nos diferentes tipos de representação geométrica.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.1.1. Clima

A área de estudo, localizada na porção nordeste do estado do Pará, está inserida no bioma amazônico. De acordo com a Classificação de Köppen descrito por Carmo Filho (2008), o clima é tropical úmido ou subúmido (Am), tendo influência de fatores como posição geográfica, relevo, temperatura da superfície do mar e fenômenos atmosféricos atuantes na região norte do país (nuvens convectivas, brisas marinha e terrestre, aglomerados de nuvens, linhas de instabilidade, ZCIT – Zona de Convergência Intertropical, UNOS – El Niño de Oscilação Sul) (Ambientare 2017, Souza *et al.* 2000).

O clima tropical úmido ou subúmido (Am) é a transição entre o clima tropical com inverno seco (Aw) e tropical úmido a superúmido (Af), é caracterizado por apresentar temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, estação seca de pequena duração com precipitação compensada pelo totais elevados de precipitação (Ambientare 2017, Carmo Filho, 2016).

Os dados de temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos foram obtidos por meio de estações meteorológicas cadastradas no INMET, devido à ausência de estações no município de Abaetetuba, selecionou-se estações localizadas em municípios próximos (Tabela 2) que apresentam dinâmica climática semelhantes a região.

Tabela 2- Localização das estações meteorológicas analisadas.

Estação	Fonte	Localização	X	Y	Distância de Abaetetuba
Belém – PA	INMET	Belém – PA	785936	9841742	55 Km
Breves – PA	INMET	Breves – PA	557789	9814261	170 Km
Cametá – PA	INMET	Cametá – PA	666755	9751180	96 Km
Soure – PA	INMET	Soure – PA	777092	9919197	100 Km

Fonte: Ambientare (2017).

O clima no município de Abaetetuba é caracterizado por temperatura anual média do ar variando entre 26,5 e 25,5 °C, com máximas entre 32,0 a 32,5 °C e mínimas entre 21,5 a 22,0 °C. A precipitação média anual é de 2000 a 2500 mm, com índices de 300 a 450 mm no período mais chuvoso (janeiro a maio) e 100 mm no período menos chuvoso (setembro a novembro) e a umidade relativa do ar com média superior a 85%, refletindo grande influência no fator térmico. A velocidade média anual dos ventos é de 1,35 m/s com máximas de 1,67

m/s e mínimas de 1,08 m/s, com direção predominante para NNE e secundariamente para E, (Ambientare 2017, Lobato *et al.* 2016).

Segundo Costa (2004), outro aspecto importante nas características climáticas da região é a baixa latitude do município (de 01°31'20"S a 01°57'23"S), pois os raios solares percorrem um plano praticamente perpendicular à superfície durante todo o ano, gerando elevada carga térmica.

Com a finalidade de entender a influência do clima nos recursos hídricos, Matta (2002) calculou o balanço hídrico da região metropolitana de Belém (Tabela 3). De acordo com Costa (2004) estes valores podem ser extrapolados para os municípios ao entorno.

Tabela 3- Balanço hídrico da região de Belém segundo a metodologia de Thornthwaite, no período de 1961 a 1997.

Balanço Hídrico segundo Thornthwaite

Fonte: INMET

Local: Belém

Retenção Hídrica: 125 mm

Latitude: 01° 25' S

Longitude: 48° 28' W

Período: 1961 - 1997

Meses	T	ETP	P	P-ETP	NEG	ARN	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	25,6	119	370	251	0	125	0	119	0	251
Fev	25,5	117	419	302	0	125	0	117	0	302
Mar	26,6	119	442	323	0	125	0	119	0	323
Abr	25,8	122	374	252	0	125	0	122	0	252
Mai	26,6	125	303	178	0	125	0	125	0	178
Jun	26,6	125	145	20	0	125	0	125	0	20
Jul	25,9	123	146	23	0	125	0	123	0	23
Ago	26,1	127	130	3	0	125	0	127	0	3
Set	26,2	129	131	2	0	125	0	129	0	2
Out	26,5	134	116	-18	-18	108	-17	133	2	0
Nov	26,5	135	119	-16	-34	94	-14	133	1	0
Dez	26,2	130	219	89	0	125	31	130	0	58
Anual	26	1505	2914	1409				1502	3	1412

T: temperatura média no período em °C.

ETP: evapotranspiração potencial, máxima perda de água na forma de vapor para a atmosfera através de uma superfície de água.

P: precipitação pluvial em mm.

P - ETP: saldo entre precipitação e evapotranspiração, pode ser positivo ou negativo.

NEG: negativo acumulado.

ARN: armazenamento de água disponível.

ALT: alteração dos valores de ETR.

ETR: evapotranspiração real, máxima perda de água na forma de vapor para a atmosfera que ocorre com uma vegetação em crescimento.

DEF: deficiência de água no solo em mm.

EXC: excedente de água no solo em mm.

Fonte: Matta (2002).

O cálculo do balanço considerou a reserva hídrica (RH) no solo de 125 mm e utilizou os dados históricos do INMET para a estação meteorológica de Belém no período de 1961 à 1997.

Segundo os dados da tabela 3, o saldo da precipitação e evapotranspiração potencial ($P - ETP$) mostra valor “positivo” demonstrando que os valores de evapotranspiração potencial (ETP) se aproximam dos valores de evapotranspiração real (ETR), indicando que a quantidade de água que retorna a atmosfera é igual ou se aproxima da quantidade que sai, ambas na forma de vapor.

Os valores com os maiores excedentes de água no solo (EXC) estão concentrados nos primeiros meses do ano, janeiro a maio, devido as maiores precipitações na região durante o período chuvoso, diminuindo consideravelmente entre os meses de junho a setembro, e valores de EXC zero em outubro e novembro, voltando a crescer no mês de dezembro.

A deficiência de água no solo (DEF) tem valor zero nos meses de janeiro a setembro, com contribuição mínima nos meses de outubro e novembro.

A figura 15, mostra a representação gráfica do balanço hídrico, relacionando precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real aos meses do ano, evidencia que as maiores recargas dos aquíferos ocorrem nos meses de janeiro a maio, enquanto os meses de outubro e novembro são considerados períodos secos, onde há deficiência de água. A partir do final de novembro, ocorre a reposição e, em dezembro, excedente, retornado o ciclo.

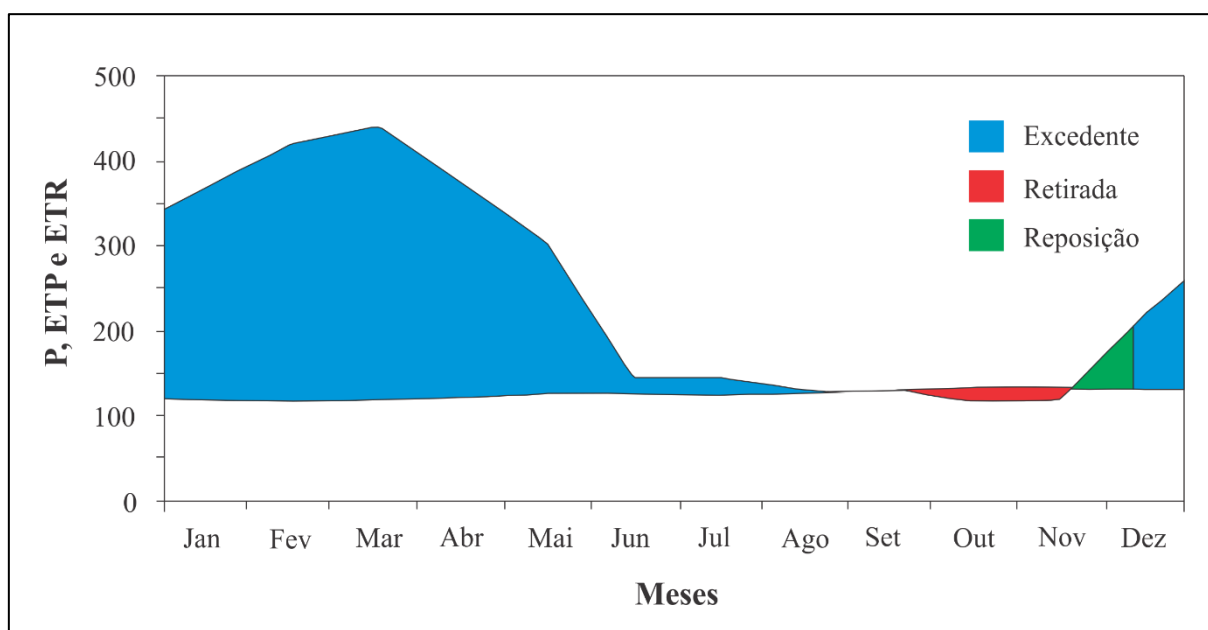


Figura 15- Balanço Hídrico de Belém do período de 1961 a 1977. Fonte: Modificado de Matta (2002).

3.1.2. Relevo

Para a descrição de relevo do município de Abaetetuba utilizou-se o modelo hierárquico de classificação adotado pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), como mostra o esquema da figura 16.

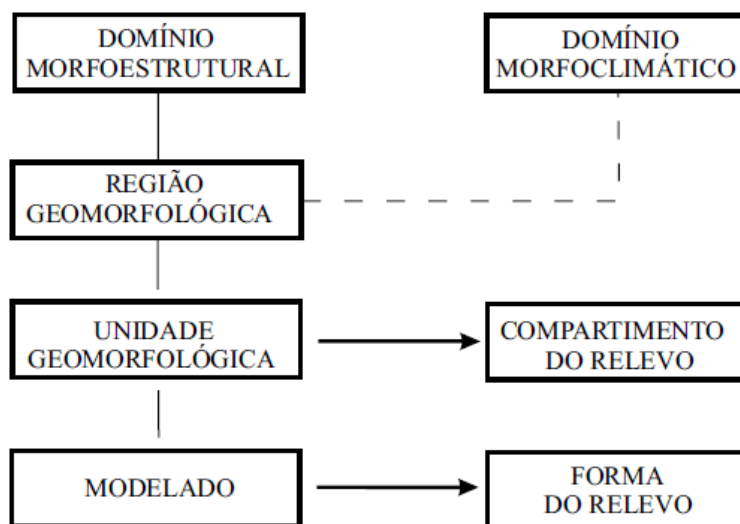


Figura 16- Resumo esquemático do modelo hierárquico de classificação adotado pelo Manual Técnico de Geomorfologia (Ibge, 2009). Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia (Ibge, 2009) (Modificado).

No contexto de Domínio Morfoestrutural, o município está inserido nas Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, segundo IBGE (2012), este domínio é caracterizado por planaltos e chapadas desenvolvidos sobre rochas sedimentares horizontais a sub-horizontais, eventualmente falhadas e/ou dobradas, depositadas em diversos ambientes, dispostos nas margens continentais e/ou no interior dos continentes.

Em relação à Unidade Geomorfológica, a área de estudo está inserida nos Tabuleiros Paraenses (Ibge 2009) ou Tabuleiros da Zona Bragantina (Dantas & Teixeira 2013). Essa unidade é caracterizada por conjunto de relevo de topos planos, elaboradas em rochas sedimentares, em geral limitadas por escarpas, apresentando altitudes relativamente baixas (Ibge 2009).

No município de Abaetetuba esta unidade consiste em um conjunto de formas de relevo de corpos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural (Ambientare 2017). Essas feições são resultado de modelados de aplainamento e dissecação, esculpindo o relevo com topos pediplanados, com declividade entre 0 e 3 graus, em altitudes

topográficas inferiores a 60 m, embasadas por rochas sedimentares pouco litificadas de idade terciária ou terciário-quadernária do Grupo Barreiras e dos sedimentos pós-Barreiras, frequentemente recobertas por coberturas detrítico-lateríticas (Dantas & Teixeira 2013).

3.1.3. Vegetação

O município de Abaetetuba está situado no Bioma Amazônico, inserido na Região Fitoecológica de Floresta Ombrófila Densa (Ibge 2004a).

A vegetação original desta região é constituída por arvores de grande a médio porte, além de lianas e epífitas, sobre os terraços aluviais e tabuleiros terciários, com vegetação dos gêneros *Hevea*, *Bertholetia* e *Dinizia*, típicos da Amazônia (Ibge 2004a, Ibge 2004b). Porém, atualmente a vegetação original é quase inexistente, dando lugar a Vegetação Secundária e áreas de atividades agrárias (Fapespa 2016, Ibge 2004b).

As áreas de várzeas apresentam sua vegetação característica, com espécies de ombrófilas latifoliadas (de folhas largas) intercaladas com palmeiras (principalmente açáí) (Fapespa 2016).

3.1.4. Solos

Os solos da porção continental são constituídos predominantemente por latossolos amarelos distrófico típico associados a espodossolo ferrihumilúvico hidromórfico arenosos até profundidades maiores que 100 cm e materiais concrecionários lateríticos e plintossolo petrico (Ibge 2008).

Os latossolos amarelos distróficos são caracterizados por textura argilosos ou areno-argiloso e elevada coesão, desenvolvidos sobre a Formação Barreiras. Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade. O espodossolo ferrihumilúvico hidromórfico é caracterizado pela cor cinza a preto e textura arenosa até profundidade de 100 cm. E o plintossolo petrico concrecionários são caracterizados por apresentar horizonte ou camada com de concreções de óxido de ferro (plintita endurecida e

consolidada). Ambos os solos descritos acima são comuns em área de relevo plano a levemente ondulado (Embrapa, 1999).

Nas ilhas, predominam gleissolos háplico Ta (argila de alta atividade) eutrófico associados a gleissolos háplico Tb (argila de baixa atividade) eutrófico e neossolos flúvicos Ta e Tb (Fapesa 2016, Ibge 2008).

Os gleissolos háplico são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do período do Holoceno. Os neossolos flúvicos são solos minerais não hidromórficos, oriundos de sedimentos recentes referidos ao período Quaternário. Ambos os solos descritos acima são férteis e podem apresentar alta ou baixa atividade de argila (Embrapa 1999).

3.2. GEOLOGIA

3.2.1. Contexto Tectônico

Em relação a compartimentação tectônica, a área de estudo está inserida nas Bacias e Coberturas Fanerozóicas, especificamente na Plataforma do Pará (Vasquez *et al.* 2008a), circundado pelas unidades geotectônica dos Cráton Amazônico, Cráton São Luís, Cinturão do Araguaia e Cinturão do Gurupi (Figura 17).

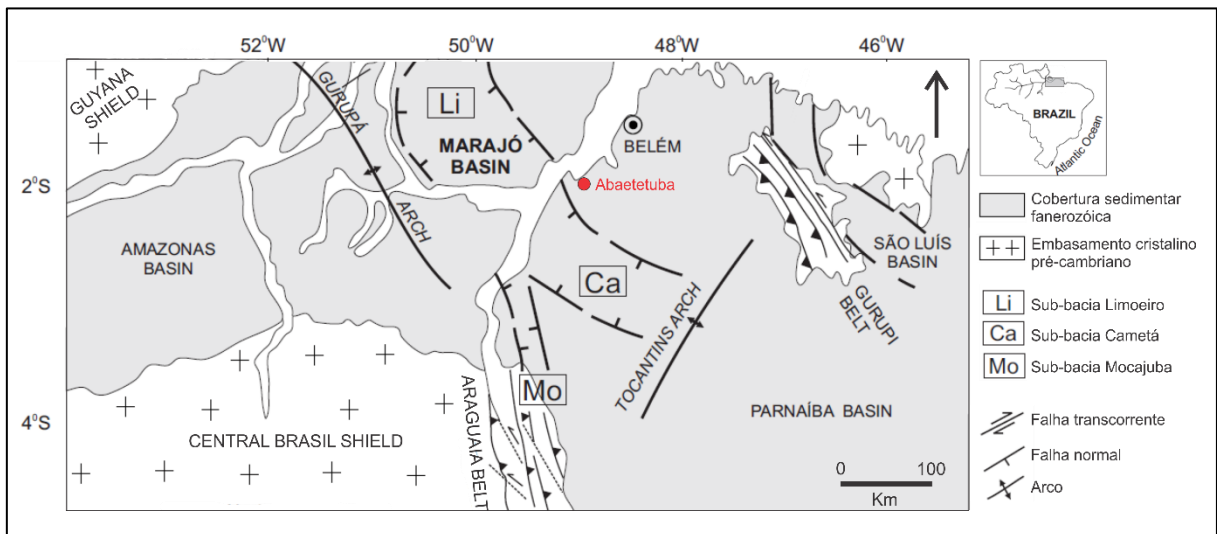


Figura 17- Localização das feições geotectônicas e estruturais aos arredores da área de estudo. Fonte: Modificado de Costa *et al.* (2002).

O Cráton Amazônico é uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sul-Americana, é constituído pelos escudos das Guianas e Brasil Central, e separados por bacias sedimentares fanerozóicas (Tassinari & Macambira 2012, Vasquez *et al.* 2008a). É constituído por rochas arqueanas a neoproterozóicas, representando uma das mais expressivas áreas no mundo de idade do Arqueano/Proterozóico (Vasquez *et al.* 2008a). Existem dois modelos principais para a subdivisão desse cráton: geocronológico e geofísico-estrutural (Figura 18). No modelo geocronológico, proposto por Amaral (1974) sugere que o Cráton Amazônico foi originado a partir de um núcleo antigo o qual foram acrescentadas diversas faixas móveis durante o Proterozóico. Este modelo foi aperfeiçoado ao longo do tempo devido a disponibilidade de novos dados de datação. Santos (2003), subdividiu o cráton em 7 províncias, Transamazônica, Carajás, Amazônia Central, Tapajós-Parima, Rio Negro, Rondônia-Juruena e Sunsás. No modelo geofísico-estrutural, Costa & Hasui (1997) propõe a subdivisão do Cráton Amazônico em um mosaico de 12 blocos (ou paleoplacas) com características de TTGs de idade arqueana (ou paleoproterozóica) tendo as margens marcadas por 19 faixas colisionais ou cisalhantes de mesma idade, que foram reativadas durante o Fanerozóico. O Cráton Amazônico engloba uma grande variedade de rochas ígneas (granodioritos, riolitos, andesitos, sienitos, monzonitos e ultrabásicas), metamórficas (gnaisses, migmatitos, granulitos, anfíbolitos e metabásicas) e metassedimentares (Hasui 2012).

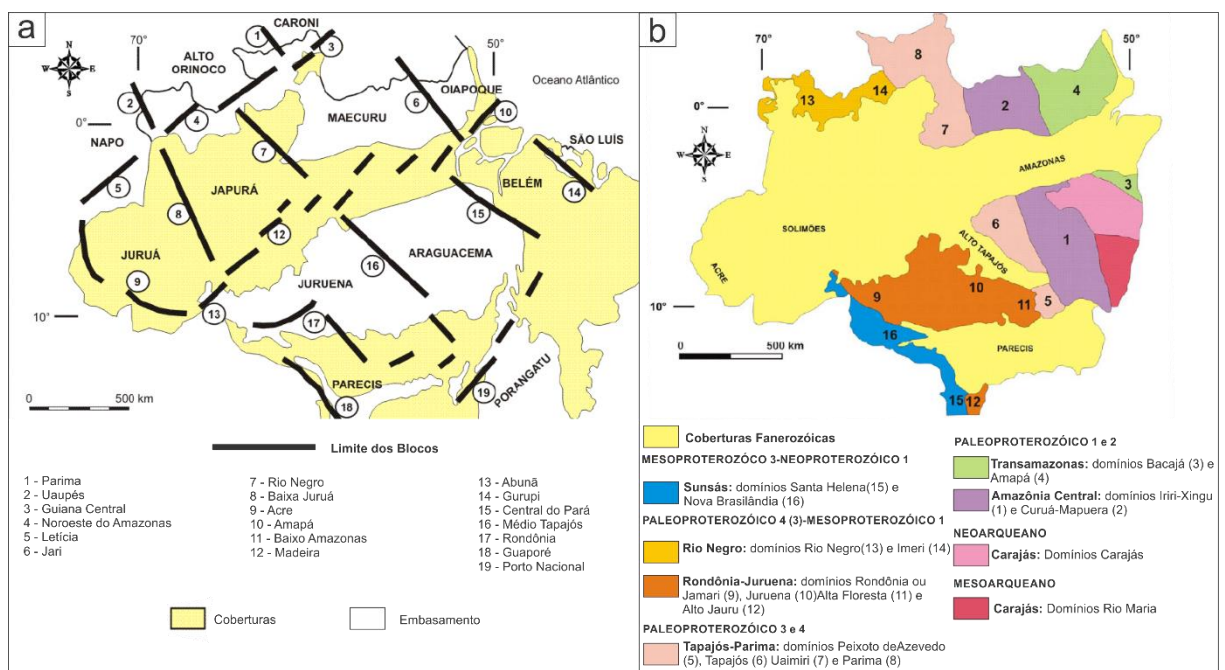


Figura 18- Modelos de subdivisão do Cráton Amazônico (a) compartimentação em blocos tectônicos e (b) compartimentação geocronológica. Fonte: (a) modificado de Tassinari & Macambira (2012) e (b) modificado de Santos (2003).

O Cráton São Luís é constituído por rochas metavulcanossedimentares, granitoides e rochas vulcânicas, ambas de idade paleoproterozóica. A litoestigrafia do cráton é composta pelo Grupo Aurizona e pelas Suíte Intrusiva Tromai e Suíte Tracuateua (Figura 19) (Klein 2014). O Grupo Aurizona corresponde a sucessão metavulcanossedimentar com xistos de natureza diversas, rochas metavulcânicas ácidas a básicas, algumas ultrabásicas, e subordinados quartzitos e metacherts, formados em condições de fácies xisto-verde a anfíbolito (subordinado). A Suíte Intrusiva Tromai é formada por tonalitos, granodioritos e granitos cálcico -alcalinos juvenis de idade entre 2168 a 2148 Ma. A Suíte Traquateua compreende granitos peraluminosos com duas micas, de idade entre 2091 a 2086 Ma. Rochas vulcânicas não metamorizadas, predominantemente ácidas, se depositaram sobre a Suíte Tromai entre 2076 a 2056 Ma (Klein *et al.* 2005, Klein 2014).

O Cinturão Gurupi é um orógeno de idade neoproterozóica desenvolvido na borda sudeste do Cráton Gurupi, com forma alongada orientada na direção NNW-SSE (Figura 19). Os litótipos que compõem o cinturão seguem a mesma orientação, tendo seus corpos alongados paralelamente a maior direção, assim como a maioria das grandes estruturas que afetam as unidades das rochas (Klein 2014). O Cinturão Gurupi é composto litologicamente por complexos metamórficos (Metatonalito Igarapé Grande e Complexo Itapeva), sequências metassedimentares (Grupo Gurupi: formações Rio Piritoró, Jaritequara, e Vila Cristal) e metavulcanossedimentares (Formação Chega Tudo), e várias gerações de rochas plutônicas com diferentes idades (corpos granitoides Cantão, Maria Suprema, Japiim, Jonasa, Ourém, Marajupema, Nefelina Sienito Boca Nova e Ney Peixoto) (Klein *et al.* 2005).

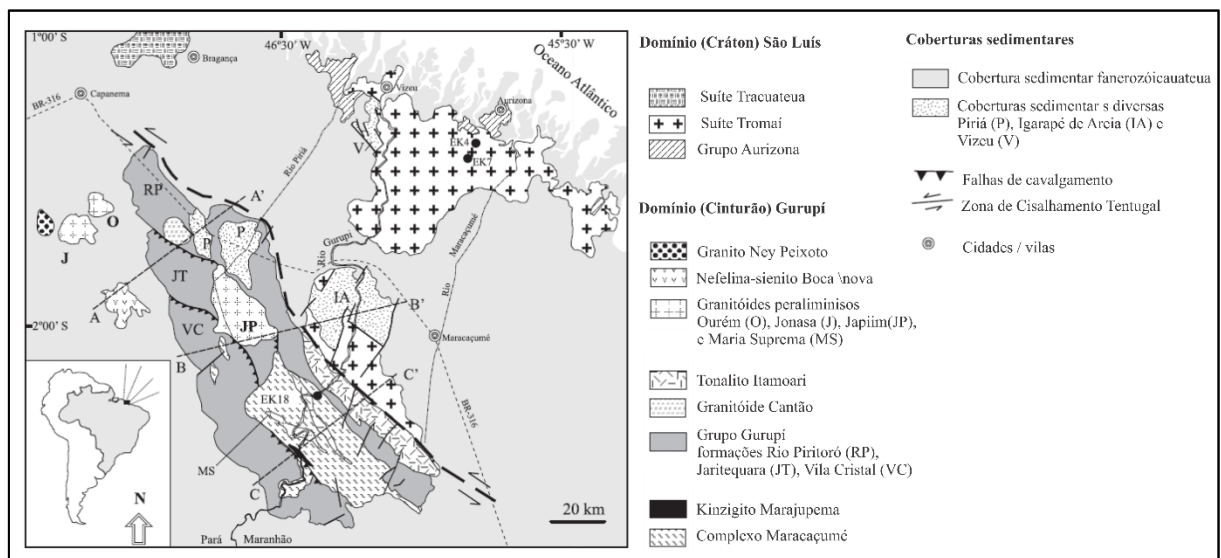


Figura 19- Mapa geológico da Região do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi. Fonte: Modificado de Klein & Moura (2003).

O Cinturão Araguaia, situado na porção setentrional da Província Tocantins e marginal a borda oriental do Cráton Amazônico (Figura 20), exibe orientação na direção N-S e possui cerca de 1000 Km de extensão e 150 Km de largura (Delgado *et al.* 2003). Litologicamente, o Cinturão Araguaia é constituído principalmente por rochas metassedimentares pelítico-psamíticas, e localmente carbonáticas, do Super Grupo Baixo Araguaia, subdividido nos grupos Estrondo (formações Morro do Campo e Xambioá) e Tocantins (formações Pequizeiro e Couto Magalhães), com grau metamórfico variando da fácies xisto-verde (a oeste) a anfibolito (a leste). Subordinadamente, ocorrem corpos alóctones da crosta oceânica proterozóica, constituído por rochas máficas a ultramáficas representadas pelas sequências da Serra do Tapa e Quatipuru, além de intrusões graníticas (Santa Luzia e Ramal da Lontra) e plútons alcalinos (suítes Monte Santo e Estrela) (Delgado *et al.* 2003, Pinheiro *et al.* 2011). O embasamento é representado por pequenas porções individualizadas do Complexo Colméia (ortognaisses TTG) e Grupo Rio Côco (sequências metavulcanossedimentares) de idade arqueana (Pinheiro *et al.* 2011).

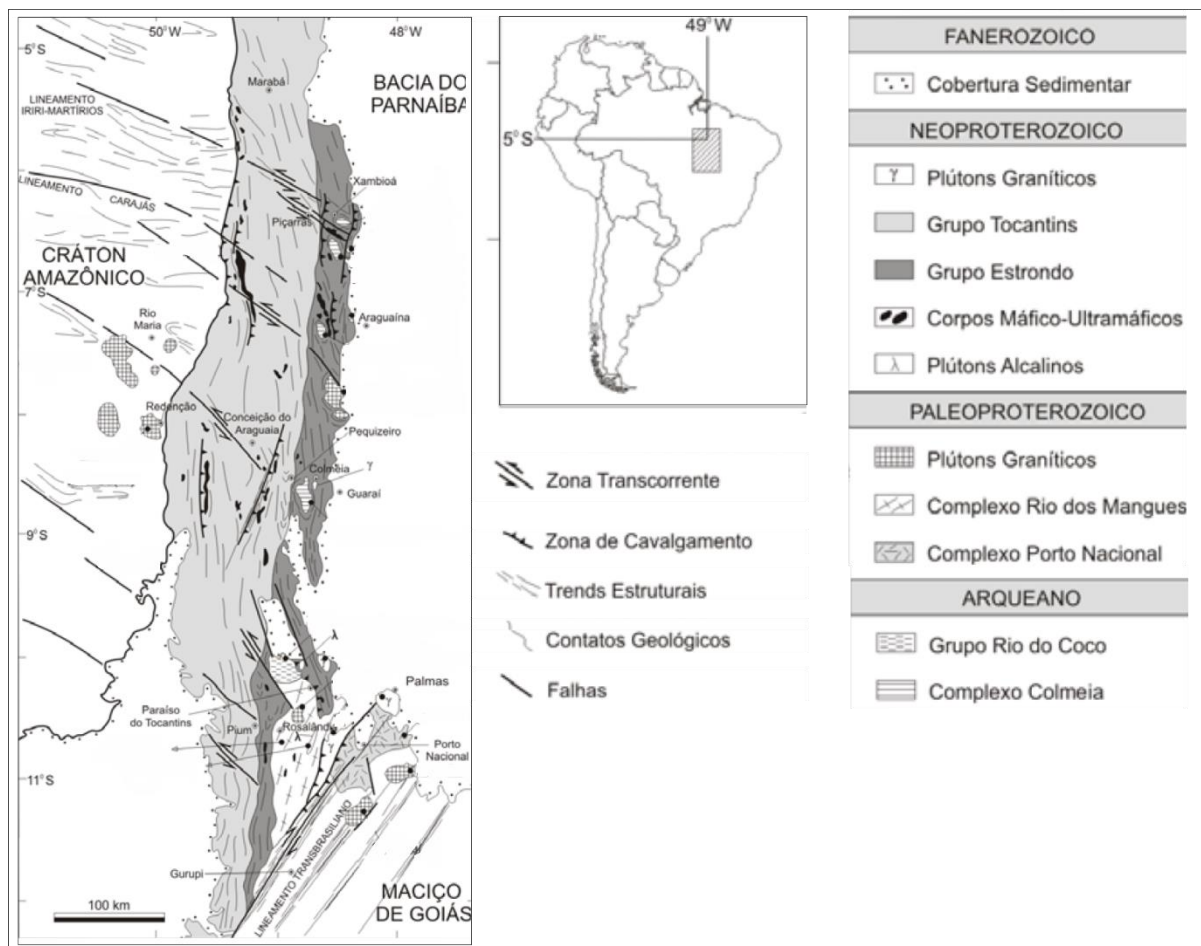


Figura 20- Mapa geológico do Cinturão do Araguaia. Fonte: Modificado de Gorayeb (2008) citado em Pinheiro (2011).

Os principais lineamentos pré-cambrianos estão orientados na direção NW e NW (vide Figura 18a), formando grandes descontinuidades, estruturas menores dentro de corpos litológicos (foliações, fraturas...) seguem o mesmo *trend* regional, submetidos a várias reativações (Hasui 2012). No Proterozóico, ocorreu a instalação de diversas bacias extensionais fortemente controlada pela estruturação anterior (NW-SE) além da geração de falhas normais E-W e falhas de transferências submeridionais ligadas ao eixo extensional N-S (Costa & Hasui 1991). A reativação no Paleozóico é marcada pela instalação das bacias intracratônicas Solimões, Amazonas e Parnaíba, em função da atuação de um eixo extensional NW-SE, além de falhas normais NE-SW (bacias Solimões e Amazonas) seguindo a orientação geral dos cinturões arqueanos e seccionados por falhas de transferência NW-SE (Costa & Hasui 1991). No Mesozóico, a abertura do Atlântico relacionada a Reativação Sul-Atlântica reativou áreas das bacias paleozoicas culminando na manifestação de magmatismo basáltico (intrusões de diques e derrames), falhas (Hasui 1990) de transferência orientadas na direção NE-SW e ENE-WSW ligadas a um eixo extensional ENE-WSW, a partir dos quais se desenvolveram as bacias Marajó, São Luís, Bragança-Viseu, Pará-Maranhão e outras zonas costeiras, e falhas normais N-S e NW-SE (Costa & Hasui 1991).

A partir do Cenozóico, o regime tectônico deixa de ser extensional, como vinha ocorrendo desde o Proterozóico, e passa para transcorrente ocasionado pela rotação da Placa Sul-Americana para oeste. Este período é caracterizado essencialmente por tectonismo transcorrente dextral, decorrente de extensão NE-SW, induzida por um binário E-W dextral (Hasui 1990), com movimentação fortemente controlada por estruturas pré-existentes do embasamento (Costa *et al.* 1996).

Os últimos registros de manifestações do Evento Sul-Atlântico estão representados nas sequências sedimentares terciárias (inferior) das bacias Amazonas, Marajó e Parnaíba. Durante o Eoceno-Oligoceno houve um importante período de estabilidade tectônica, nos quais se desenvolveram perfis lateríticos maduros nessas unidades e em outras mais antigas, marcando a idade máxima do início da neotectônica (Costa *et al.* 1996).

Segundo o mesmo autor, após a estabilidade tectônica dois pulsos de movimentações transcorrentes são reconhecidos: Mioceno-Plioceno e Pleistoceno Superior-Recente. Sendo estes relacionados a deslocamento ao longo de feixes de falhas, gerando depósitos sedimentares e controlando padrões de drenagem e sistemas de relevo.

Durante o Mioceno-Plioceno, o quadro estrutural é caracterizado por dois compartimentos, transpressivo e transtensivo (Figura 21a). O compartimento transpressivo

tem forma romboédrica, com seus limites norte e sul correspondentes a falhas transcorrentes E-W dextrais, afetando principalmente as seqüências sedimentares da Formação Ipixuna, além de impor forte controle na orientação da drenagem (1ª e 2ª ordem) e anomalias em cotovelo (3ª ordem). O compartimento transtensivo refere-se a bacia em que se alojaram sedimentos das Formação Pirabas e Grupo Barreiras, com falhas-mestras normal orientada preferencialmente na direção NW-SE com mergulho para NE (Costa *et al.* 1996).

No Plistoceno Médio-Holoceno, o quadro estrutural compreende vários feixes de falhas transcorrentes dextrais E-W interligando-se através de falhas normais NW-SE, NNW-SSE e N-S (Figura 21b), definindo diversas estruturas romboédricas (bacias de afastamento) com dimensões variadas. Tais estruturas afetam seqüências sedimentares do Terciário Inferior (Formação Ipixuna) e do Terciário Superior (Formação Pirabas e Grupo Barreiras) e o perfil laterítico maturo. O deslocamento vertical das falhas ocasionou a distribuição em faixas alternadas dos sedimentos da Formação Ipixuna e Grupo Barreiras, exposição isolada da Formação Pirabas em meio as rochas do Grupo Barreiras devido à alta taxa de erosão das partes externas da capa soerguida, deposição de grande parte dos sedimentos Pós-Barreiras, forte controle de dissecação do sistema colinoso e grande controle nos canais e padrões de drenagem (Costa *et al.* 1996).

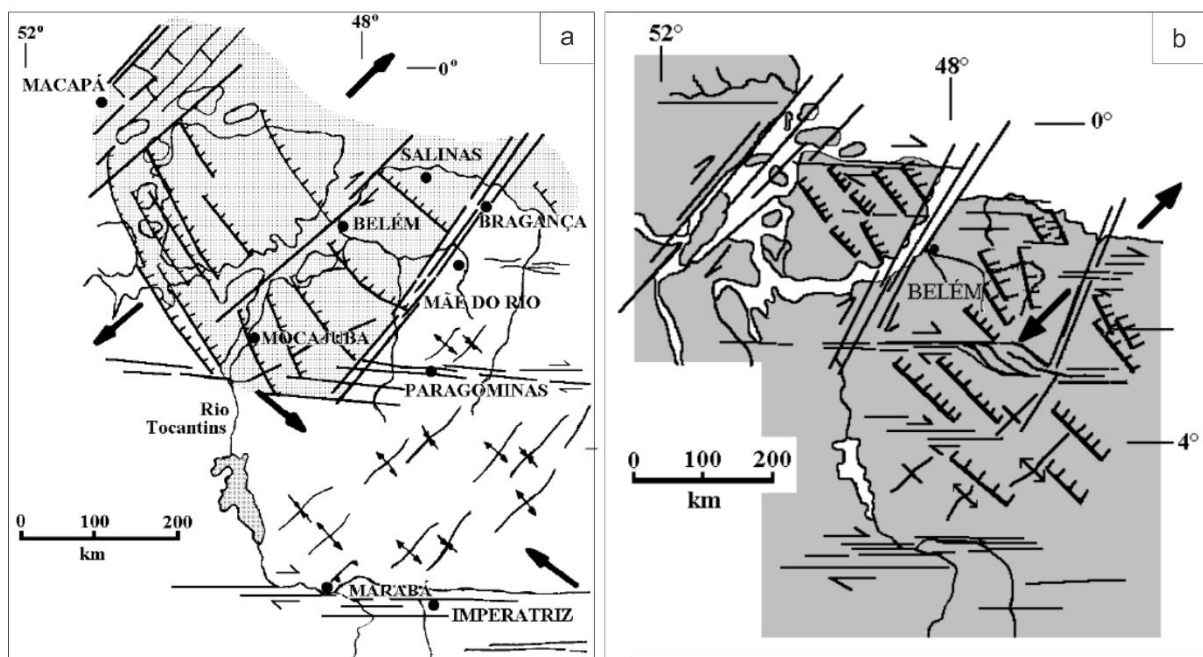


Figura 21- Estruturas neotectônicas. (a) Maiores estruturas do Terciário Superior. Legenda: área pontilhada, seqüência sedimentar Pirabas-Barreiras; eixos de dobras, linhas com setas transversais convergentes em sinclinais ou divergentes em anticlinais; flechas divergentes, orientação do eixo distensivo σ_3 ; flechas convergentes, orientação do eixo compressivo σ_1 . (b) Maiores estruturas do Quaternário. Legenda: eixos de dobras, linhas com setas transversais convergentes em sinclinais ou divergentes em anticlinais; flechas divergentes, orientação do eixo distensivo σ_3 . Fonte: Costa *et al.* (1996).

3.2.2. Litoestratigrafia

Segundo Vasquez *et al.* (2008b), as unidades litoestratigráficas que ocorrem na região são representadas pelo Grupo Barreiras (Terciário) e Sedimentos Pós-Barreiras (Quaternário). A deposição dessas unidades está relacionada a reativação de falhas transcorrentes (Costa *et al.* 1996), além de variações do nível do mar e flutuações climáticas (Arai 2006, Rossetti 2006).

Os sedimentos do Grupo Barreiras distribuem-se ao longo de uma faixa estreita na zona litorânea se estendendo do Rio de Janeiro até o Amapá (Rossetti 2006). Sendo caracterizado genericamente por depósitos siliciclásticos de cores variegadas

Goés e Truckenbrodt (1980) definiram três litofácies para esta unidade no nordeste paraense: fácies arenosa, fácies argilo-arenosa e fácies conglomerática. A fácies argilo-arenosa é caracterizada por maior heterogeneidade litológica (camadas argilosas, argilo-arenosas, areno-argilosas, e arenosas “limpas”), tem altas porcentagens de finos, grãos mal selecionados e angulosos, e maior compactação. A fácies arenosa é litologicamente homogênea, porcentagem de argila inferior as da fácies anterior, com granulação média e grão sub-angulosos disseminados. A fácies conglomerática ocorre de forma restrita, sobreposta discordantemente ao embasamento pré-cambriano (Formação Santa Luzia), constituído de conglomerados polimíticos com seixos mal selecionados, pouco retrabalhados, com formas irregulares e tamanhos variados, e matriz (60-70%) de areia grossa.

Rossetti *et al.* (1989) detalhou a caracterização faciológica, descrevendo treze litofácies para a mesma unidade no nordeste paraense: argilosa com laminação plano-paralela (Al), argilosa maciça (Am), areno-argilosa geralmente maciça (AA), arenosa sem estruturação aparente (Sm), arenosa com estratificação cruzada acanalada (As), arenosa com estratificação cruzada tabular (St), areno-argilosa com estratificação cruzada *wave* e *lisen* (Sw), arenosa com ondulas cavalgantes ascendentes (Sc), arenosa grossa a conglomerática (SG), conglomerática (CC), conglomerática com seixos de argila (CA), arenosa com estratificação sigmoidal (Ss), blocos de arenito ferruginoso e/ou seixos de quartzos (BS). As quais agrupou em quatro associações, em função da relação de contato vertical e lateral.

Segundo Rossetti (2006), a análise faciológica permitiu atribuir a deposição do Grupo Barreiras a vários ambientes litorâneos dominados por correntes de maré. Apesar da extensa área de ocorrência, no nordeste amazônico, esses depósitos podem ser reduzidos a um modelo

deposicional único, constituído por um complexo de vales incisos estuarinos (Rossetti 2000, Rossetti 2001), inferido com base na abundância de depósitos formados por processos de maré, além da variedade de ambientes deposicionais típicos de sistemas estuarinos (incluindo-se abundantes canalizações) e na sua relação com estratos atribuídos à plataforma rasa e plataforma restrita (Rossetti 2006).

Informações palinológicas possibilitou contatar que grande parte da deposição desta unidade ocorreu no Mioceno Médio (Arai 1997), a junção desses dados com interpretações faciológicas, permitiram inferir influência marinha na deposição dos litótipos (Rossetti *et al.* 1989), sugerindo a interdigitação desta com a Formação Pirabas.

Os sedimentos Pós-Barreiras são genericamente caracterizados por paleossolos lateríticos e/ou por depósitos residuais retrabalhados destes, misturados com seixos de quartzo, sobrepostos discordantemente sobre as unidades do Grupo Barreiras/Formação Pirabas (Tatumi *et al.* 2008).

Sá¹⁰ (1992) *apud* Costa (2004), caracteriza esta unidade como sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregados, compostos predominantemente por grãos de quartzo, alguns leitos pouco espessos de seixos e blocos rolados ou pouco movimentados de arenitos ferruginosos. Segundo Rossetti¹¹ (1990) *apud* Costa (2004), tais sedimentos estão separados do Grupo Barreiras por uma superfície erosiva, acompanhada ou não por níveis dentríticos. Ambos os autores consideram que a deposição desta unidade se deu por atuação de movimentos gravitacionais, tendo como participação de processos dissipativos de dunas eólicas.

Datações realizadas nos sedimentos Pós-Barreiras na região do nordeste paraense pelo método LOE/MAR (luminescência opticamente estimulada / seguindo os protocolos de *Multiple Aliquot Regeneration*) indicou que a deposição desta unidade ocorreu do final do Pleistoceno ao Holoceno (Tatumi *et al.* 2008).

O mapa geológico da área pode ser observado na figura 22 e a disposição das unidades descritas está representada na coluna estratigráficas da figura 23.

¹⁰ Sá J. H. S. 1969. *Contribuição a geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina*. Bol. Inst. Geol. Rio de Janeiro **3** : 21-3.

¹¹ Rossetti D. F. 1990. *Caracterização faciológica e diagenética da Formação Barro Duro – Bacia de Barrerinhas*. DS Mestrado Programa e Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 191 p.

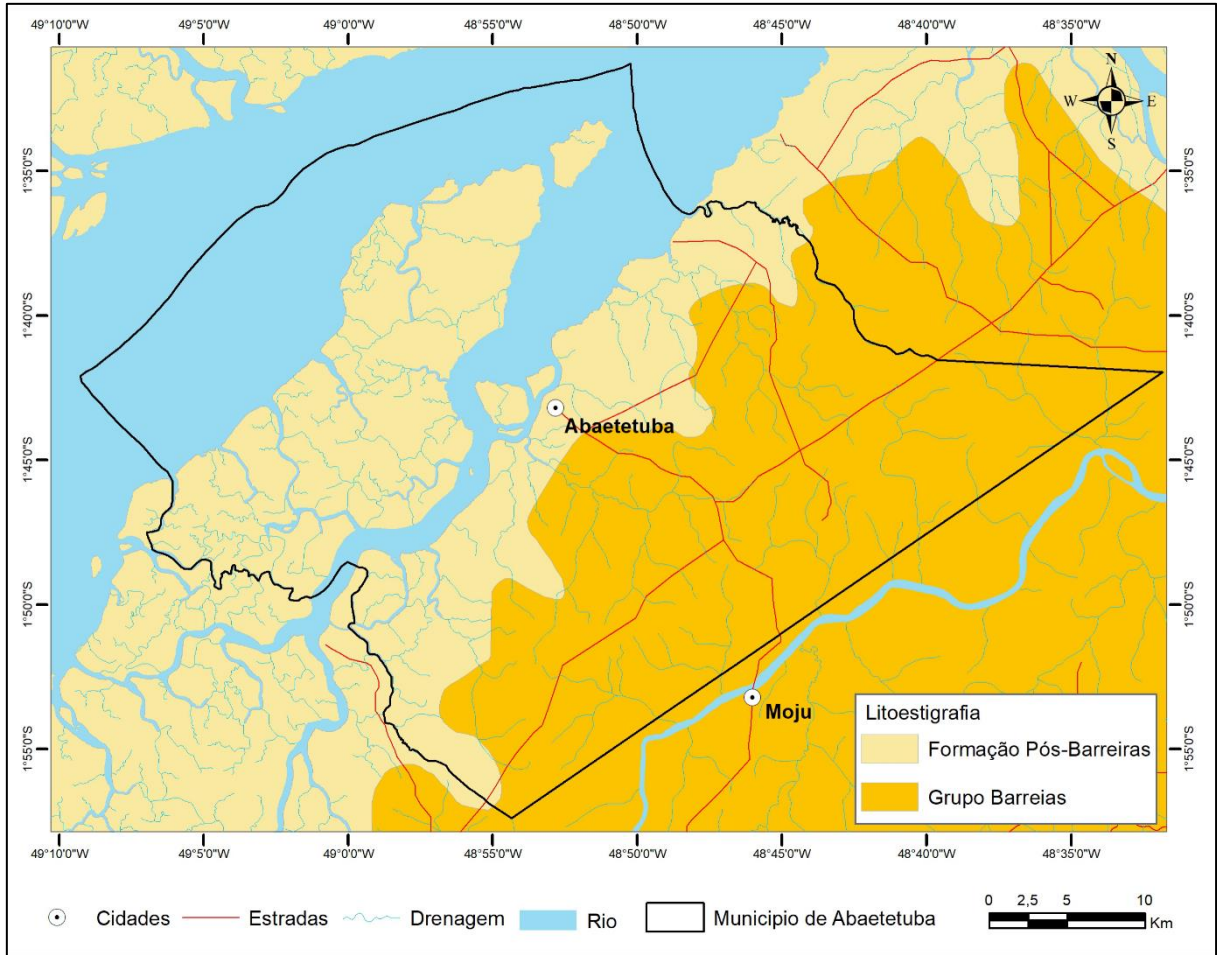


Figura 22- Mapa Geológico do Município de Abaetetuba. Fonte: Adaptado de Vasquez *et al.* (2008b).

IDADE	SEQUÊNCIA DEPOSICIONAL	UNIDADES LITOESTATIGRÁFICAS	DESCRIÇÃO	ESPESSURA MÉDIA (m)
PLEISTOCENO-HOLOCENO	C	Pós-Barreiras	Pós-Barreiras Sedimentos inconsolidados, arenoargilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.	5
		Paleossolo Laterítico		
MIOCENO	B	Gr. Barreiras Médio/Superior	Grupo Barreiras FÁCIES ARGILO-ARENOSA: Argilo-arenosas, areno-argilosas e, restritamente arenosas limpas. FÁCIES ARENOSA: Arenitos amarelados, de granulação média, mal selecionados, com grânulos e seixos subangulosos disseminados.	5 - 10
		Gr. Barreiras Inferior		
OLIGOCENO SUPERIOR	A	Fm. Pirabas	FÁCIES CONGLOMERÁTICA: Conglomerados polimíticos, com matriz de areia grossa, seixos mal selecionados e pouco retrabalhados.	15 - 20
		Paleossolo Bauxítico- Laterítico		

Figura 23- Coluna estratigráfica da área de estudo. Fonte: Modificado de Rossetti (2001), Costa (2001) e Tatumi *et al.* (2008).

4. ANÁLISE DAS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS

4.1. ANÁLISE DA DRENAGEM

A análise da rede de drenagem com o escopo de interpretação de estruturas geológicas tem sido indispensável, pois os cursos de água são muito sensíveis e altamente capazes de se ajustar a estruturação do terreno (Howard 1967, Lima 2006). As anomalias de drenagem são características importantes do relevo e indicam atuação de movimentação neotectônica (Ibge 2009), são representadas por diversas feições como: padrões geométricos, cursos deslocados lateralmente, assimetria, captura, arcos e cotovelos na drenagem, etc.

As características da rede de drenagem na área de estudo, variam ao longo da mesma. Baseado nesta variação e uso da classificação de Howard (1967) e da metodologia do Soares & Fiori (1979), subdividiu-se a área de estudo e 5 Zonas Homólogas (Figura 24). Além das propriedades de drenagem descritas por Soares e Fiori (*op. cite*), algumas generalidades são observadas na região, como formas anômalas de arcos e cotovelos, S e Z, e meandros isolados.

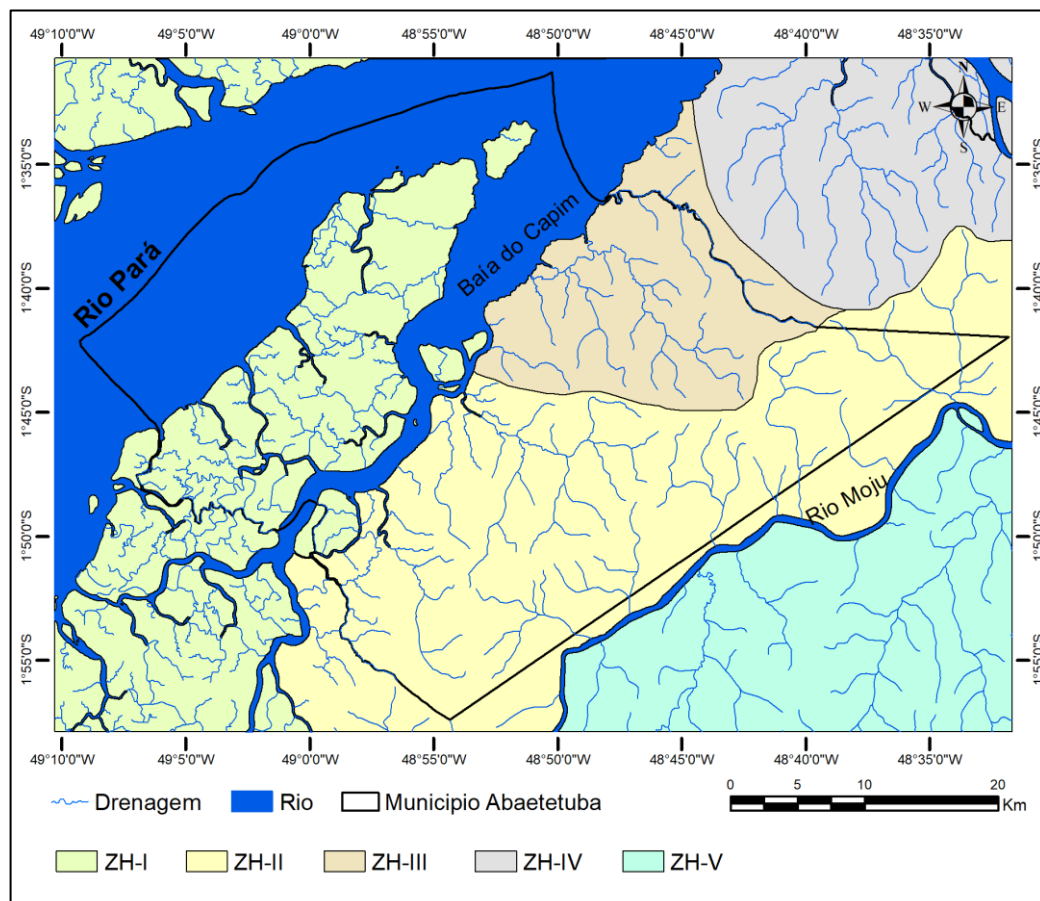


Figura 24- Mapa de drenagem do Município de Abaetetuba.

A ZH-I localiza-se a leste da área, estando limitada a leste-noroeste pelo Rio Pará, a nordeste pela Baía do Capim e a sudeste pelo Igarapé Miri e Rio Meruú-açu. O Rio Maiauata representa uma das feições mais expressivas desta zona homóloga, devido a mudanças brusca (quase 90°) na direção ao longo do curso de drenagem (Figura 25).

Essa ZH corresponde as ilhas frente do município, com atitudes baixas e superfície relativamente plana, sendo muito susceptível aos processos relacionados a oscilação do nível de maré, logo, apresenta densidade de drenagem maior em relação ao restante da área. Canais de drenagem anastomosado predominam na área, observados principalmente na porção central desta ZH, subordinadamente, ocorrem padrões retangular e contorcido em porções localizadas. Os elementos de drenagem encontram-se orientados preferencialmente na direção NW-SE e NE-SW, com elevada angularidade, sinuosidade mista e baixa assimetria.

As anomalias de drenagem de mais se destacam nesta ZH são as dobras em cotovelo e o alargamento dos cursos de drenagem. As dobras em cotovelo são mais evidentes ao longo do curso dos rios Maiauatá, São Lourenço, Timbuí, Ajoal e Furo Grande, com mudanças no sentido de NW-SE para NE-SW, e Rio Muruti-pucco com mudança no sentido de N-S para W-E. Os alargamentos dos cursos de drenagem são observados nos tributários dos rios Anapú e Maiauatá, rios Maracapu Miri, Panacuera, Timbuí, Arumanduba e Furo do Açacu. Outras anomalias de drenagem como curvas em forma de S principalmente segundo a direção NE-SW, meandros isolados e curvas anômalas são observadas na área.

com a ZH-3, marcado principalmente mudança no padrão de drenagem e orientação. Esta ZH tem geometria alongada segundo a direção NE-SW, se estendendo de centro-sudoeste a nordeste da área (Figura 26).

Os canais de drenagem são retilíneos, com densidade média e predomínio do padrão de drenagem retangular, e localmente, o padrão distributário. Os elementos da drenagem estão orientados preferencialmente segundo a direção NE-SW e subordinadamente NW-SE e quase N-S, alta angularidade, sinuosidade retilínea e alta assimetria.

Dentre as anomalias de drenagem observadas na ZH, destacam-se as dobras em arco e cotovelos. As curvas em arco são evidentes nos cursos de água do Rio Itacuruça e outros tributários do Rio Maiavela. As dobras em cotovelo são observadas nos igarapés Ipixuna e Camurituba, com mudanças no sentido de N-S para W-E. Outras anomalias presentes são dobras em forma de S segundo a direção NW-SE, alargamento dos cursos de drenagem nos rios Itanimbuca, Itacuruça e Abaeté, ambos na direção NW-SE, e meandros isolados.

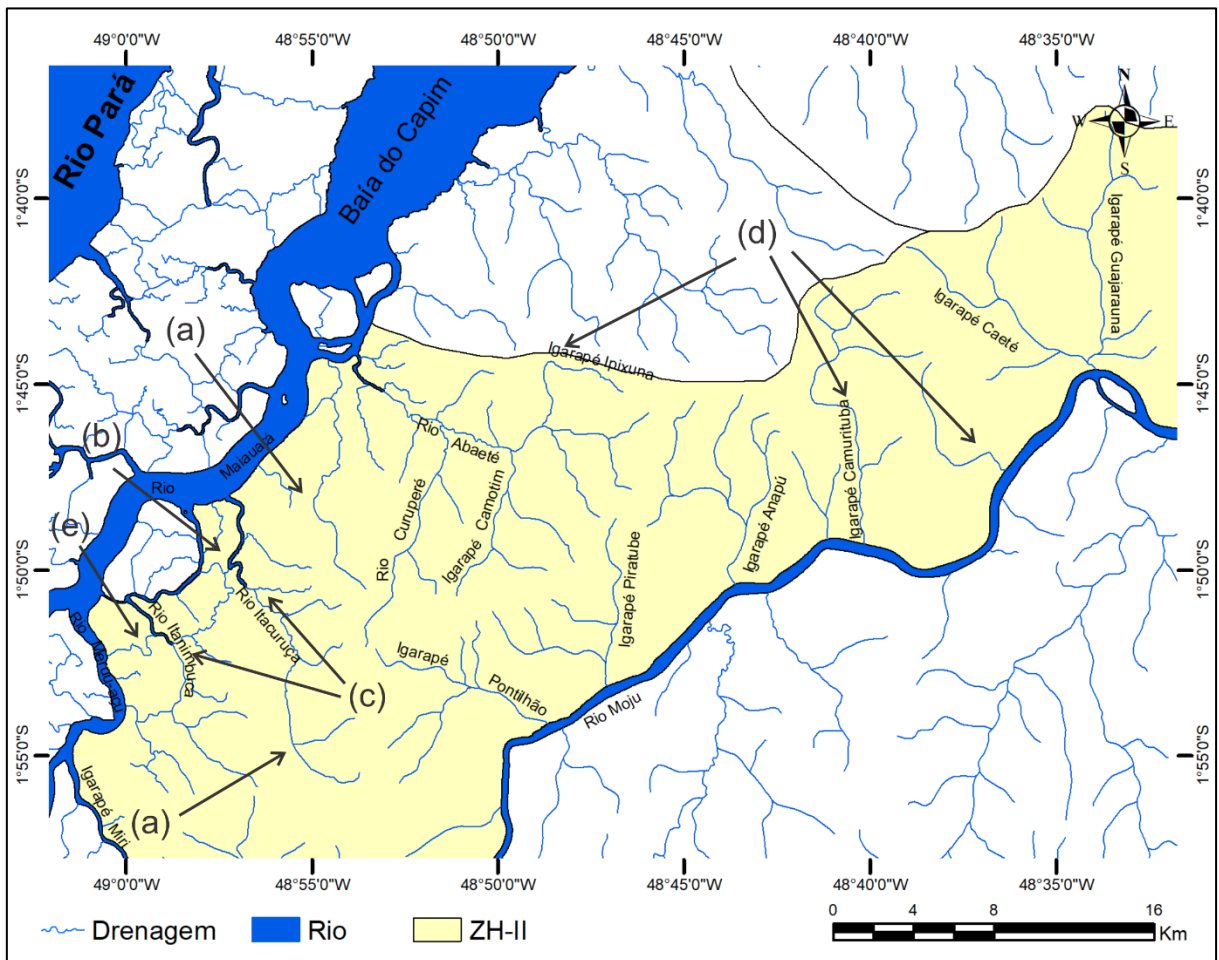


Figura 26- Mapa da Zona Homóloga II. Em (a) curvas em formas de arco (b) dobras em formas de S (c) alargamento de cursos de drenagem (d) formas de cotovelo (e) meandro isolado.

A ZH-III está situada ao norte da área de estudo, limitada ao noroeste pela Baía do Capim, a sul pela ZH-II e a nordeste pela ZH-IV. Os limites com as ZH-II e ZH-IV tem transição gradual, diferenciando-se destas pela mudança na orientação da drenagem, densidade e padrão de drenagem (Figura 27).

A drenagem nesta ZH apresenta baixa densidade, com canais de drenagem retílineos, apresentando padrão de drenagem dendrítico. Os elementos da drenagem estão orientados preferencialmente segundo a direção NW-SE e subordinadamente NE-SW, com baixa a média angularidade, sinuosidade mista e alta assimetria.

Nesta ZH, destacam-se como anomalias de drenagem as curvas em forma de arcos e curvas anômalas de drenagem. As curvas em forma de arco são observadas nos rios Arapiranga de Beja e Arienga e nos tributários do Rio Guarajá, ambos com curso de drenagem na direção NW-SE. As curvas anômalas encontram-se ao longo dos rios Guajará e Arapiranga de Beja. Além destas, foram observados nesta ZH meandros isolados, alargamentos dos cursos de drenagem e dobram em forma de Z segundo a direção NW-SE.

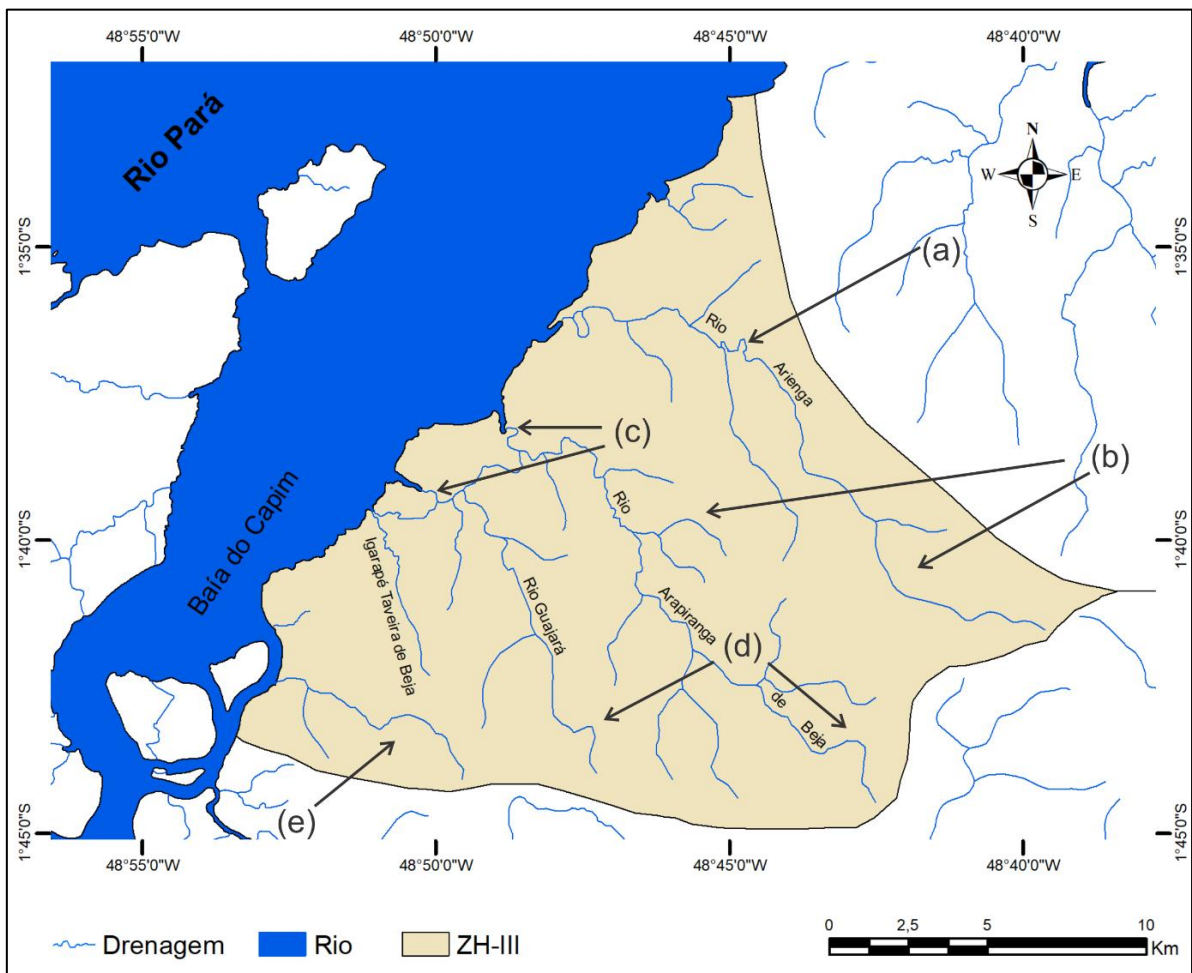


Figura 27- Mapa da Zona Homóloga III mostrando em (a) meandro isolado (b) curvas em formas de arco (c) alargamento de cursos de drenagem (d) curvas anômalas na drenagem (e) dobram em formas em S.

A ZH-IV está situada no extremo nordeste da área, limitada a noroeste pelo Rio Pará, a sudoeste e sudeste pelas zonas homólogas III e II, respectivamente. Os limites entre as zonas homólogas foram traçados baseado nas mudanças do padrão de drenagem e orientação dos cursos de drenagem (Figura 28).

Os canais de drenagem são retilíneos com média densidade, o padrão de drenagem predominante é o paralelo, com ocorrência localizada do padrão retangular. A orientação preferencial dos elementos da drenagem é quase N-S, e subordinadamente NE-SW, baixa a média angularidade, sinuosidade retilínea a mista e alta assimetria.

As anomalias de drenagem observadas nesta ZH são: alargamento do curso de drenagem (Rio Itaporanga) segundo a direção N-S, meandros isolados, dobras em forma de cotovelo com direção NE-SW mudando para NW-SE, curvas em forma de arco (Rio Itaporanga e tributários do Rio Icaraú) e dobras em forma de S segundo a direção NE-SW.

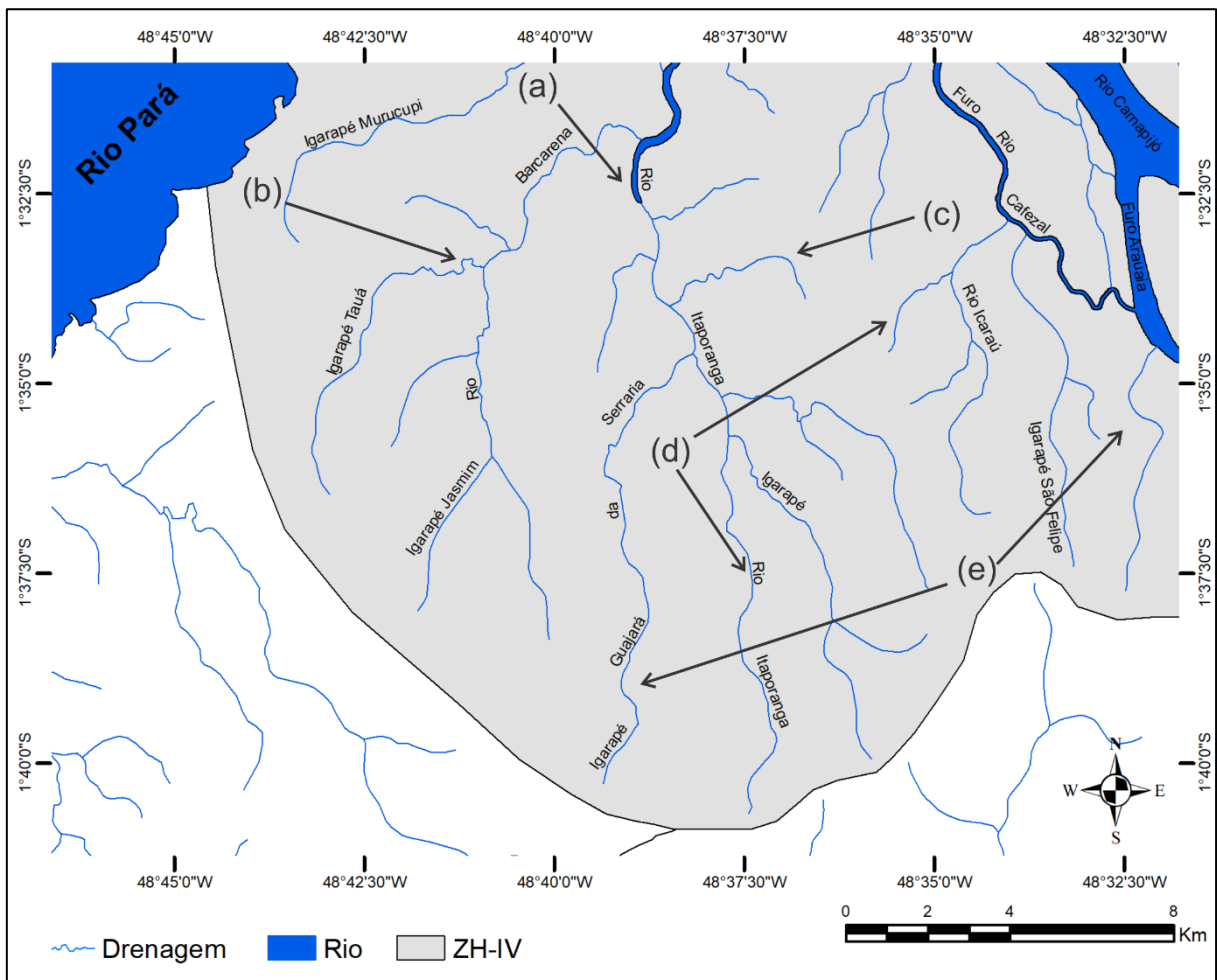


Figura 28- Mapa da Zona Homóloga IV. Em (a) Alargamento do curso da drenagem (b) meandro isolado (c) dobra em forma de cotovelo (d) curva em forma de arco (e) dobra em forma de S.

A ZH-V está localizada a sudeste da área de estudo, limitada a noroeste pelo Rio Moju. Este rio representa uma das feições mais expressivas desta zona homóloga, pois expressa forte controle estrutural evidenciado pela sua linearidade segundo a direção NE-SW sofrendo uma inflexão para N-S a sudoeste (Figura 29).

Os canais de drenagem são no geral retilíneos, ocorrendo de forma localizada canais meandantes. A densidade de drenagem é média, com padrões de drenagem dendrítico a retangular. Os elementos de drenagem estão orientados preferencialmente segundo as direções quase N-S e quase E-W, e subordinadamente, NW-SE, sinuosidade mista, alta angularidade e assimetria.

Nesta zona homóloga, as anomalias de drenagem observadas são curvas em formas de arcos (Igarapé Ipitinga e tributários do Igarapé Jambuacu), dobras em forma de cotovelo no tributário do Rio Ubá (direção E-W mudando para N-S) e nordeste do Rio Moju (direção NE-SW mudando para NW-SE), dobras em forma de Z no Igarapé Puacê (direção NW-SE) e Rio Moju (NE-SW). Também são observados meandros comprimidos na desembocadura do RIO Ubá.

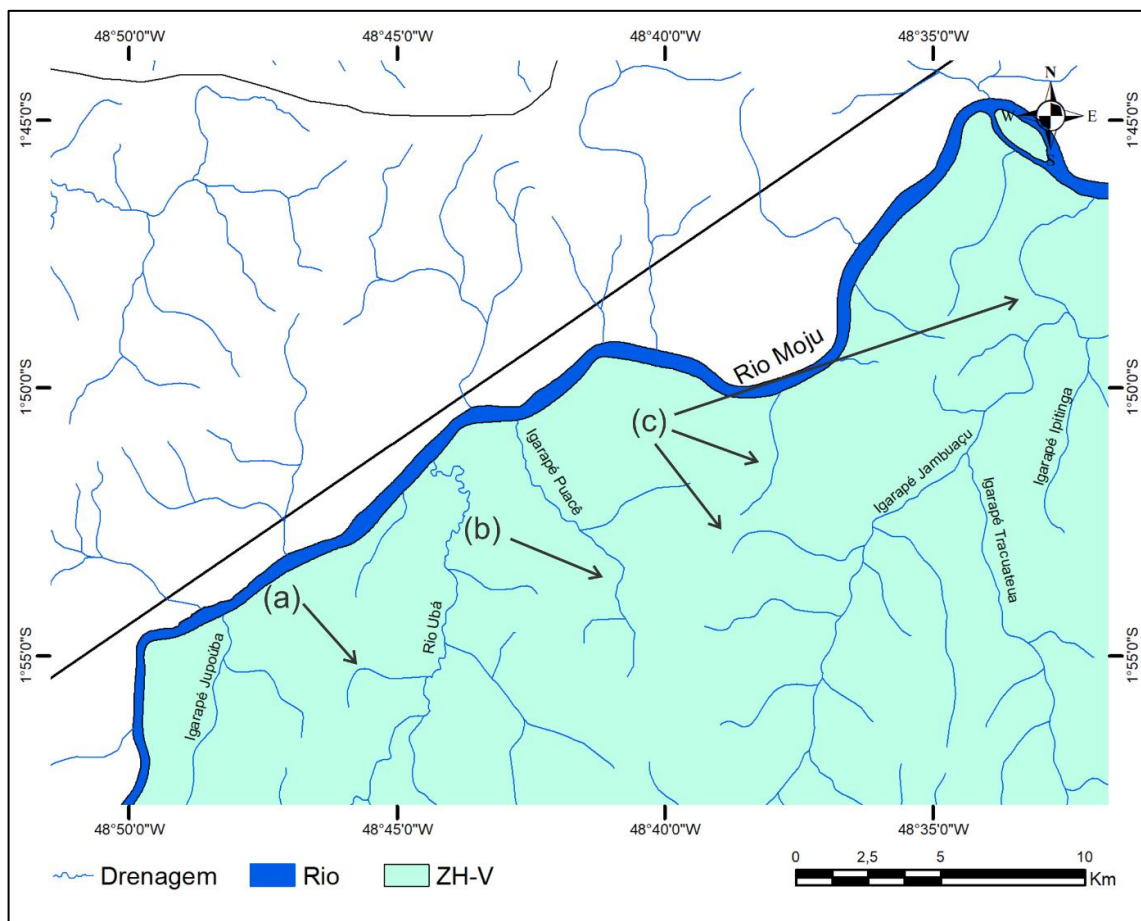


Figura 29- Mapa da Zona Homóloga V, mostrando em (a) dobras em formas de cotovelo (b) curvas em formas em Z (c) curvas formas de arco.

4.2. ANÁLISE DOS LINEAMENTOS

Os lineamentos são fonte de informação de expressiva importância em caráter estrutural. O estudo dos segmentos retilíneos em sistemas de drenagens possibilita a individualização e caracterização dos lineamentos de drenagem. Tais segmentos podem representar importantes estruturas neotectônicas.

Conceitualmente, lineamento é uma morfoestrutura com “feição linear mapeável simples ou composta, contínua ou suavemente curva que diferem distintamente dos padrões de feições que lhes são adjacentes e, presumivelmente, refletem um fenômeno de subsuperfície” (O’Leary *et al* 1976, p. 1467).

No presente trabalho, utilizou-se o mapa de drenagem do município de Abaetetuba (Figura 30) para a extração das feições lineares apresentadas no mapa de lineamento (Figura 31). A análise estatística dos dados estruturais para as cinco ZHs anteriormente descritas está condensada na tabela 4 e nos diagramas de rosetas (Figuras 32 a 37).

Tabela 4- Resumo das medidas de lineamentos das zonas homólogas de drenagem do município de Abaetetuba.

Zonas Homólogas	Direção Principal	Direção Secundária	Outras Direções
ZH-I	N 30 – 50 E N 40 – 50 W	N 10 – 20 W N 30 – 40 W N 80 – 90 W	N 00 – 30 E N 50 – 70 E N 50 – 70 W
ZH-II	N 20 – 30 E	N 00 – 20 E N 00 – 10 W N 50 – 70 W N 70 – 90 W	N 30 – 40 E N 50 – 60 E N 20 – 50 W
ZH-III	N 20 – 30 W N 40 – 50 W	N 30 – 40 W N 60 – 70 W	N 10 – 20 E N 20 – 30 E N 80 – 90 W
ZH-IV	N 10 – 20 W	N 40 – 50 E N 00 – 10 W N 40 – 50 W	N 10 – 30 E N 60 – 70 E N 3- - 40 W
ZH-V	N 10 – 20 E	N 10 – 20 W N 50 – 60 W	N 20 – 40 E N 50 – 60 E N 30 – 50 W N 70 – 80 W

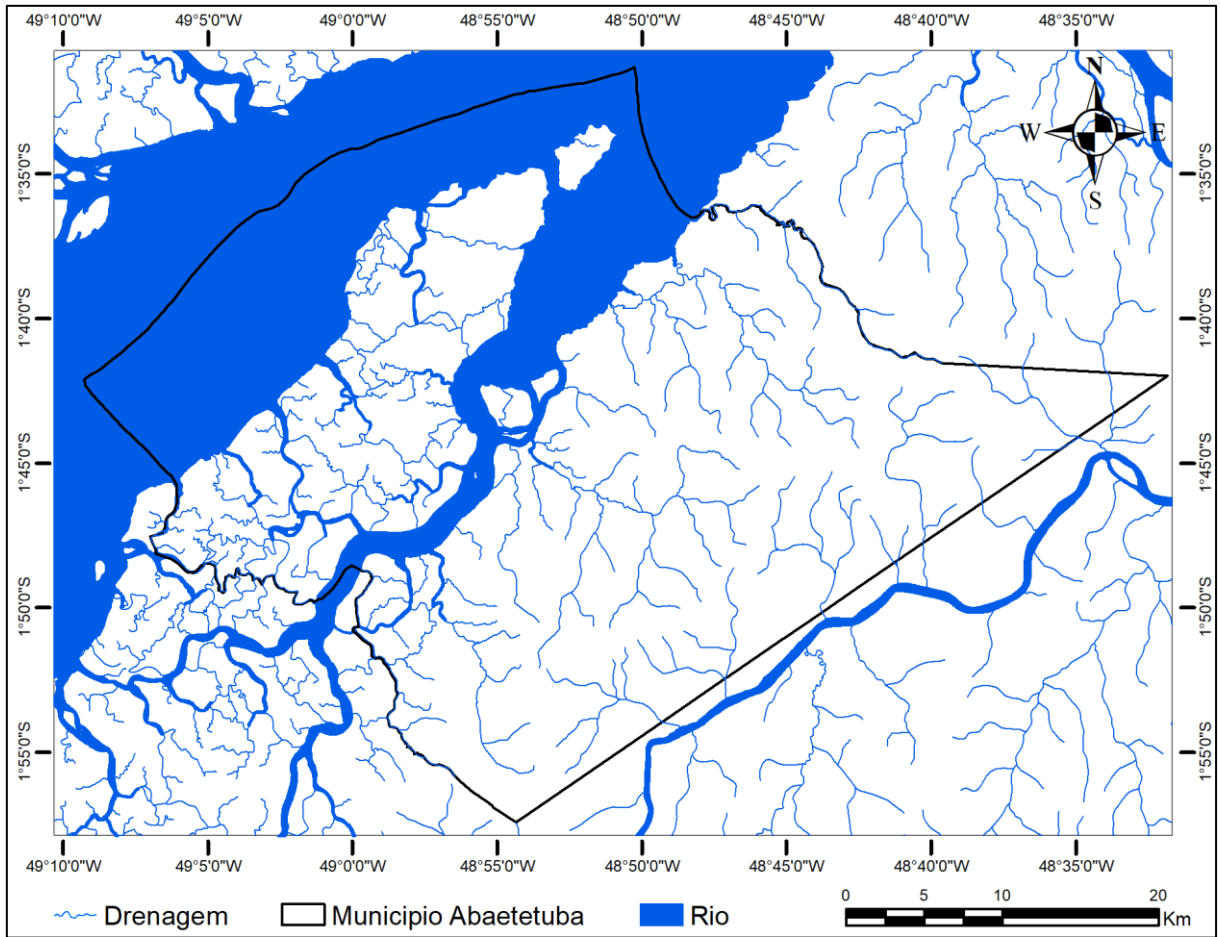


Figura 30- Mapa de drenagem da área de estudo.

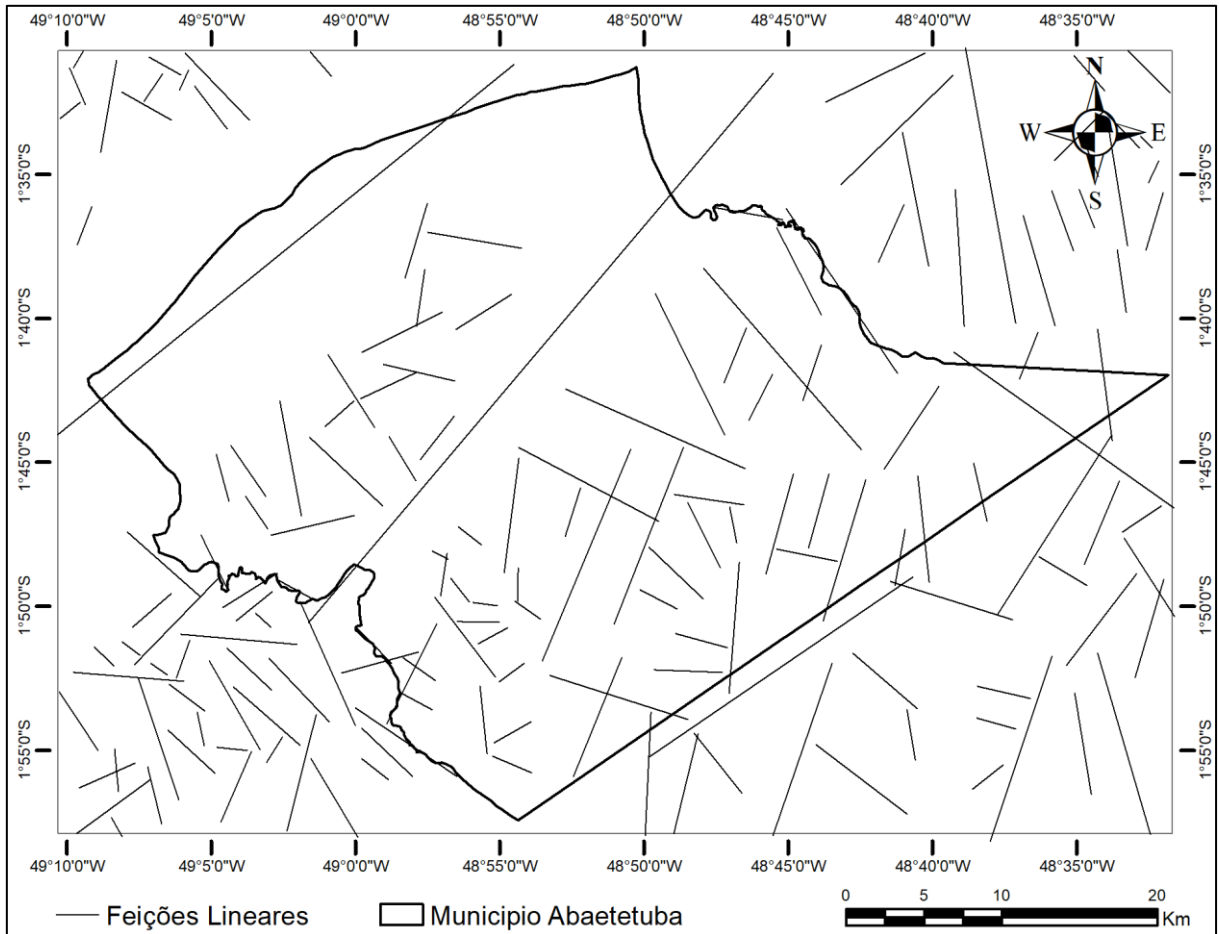


Figura 31- Mapa de lineamentos da área de estudo.

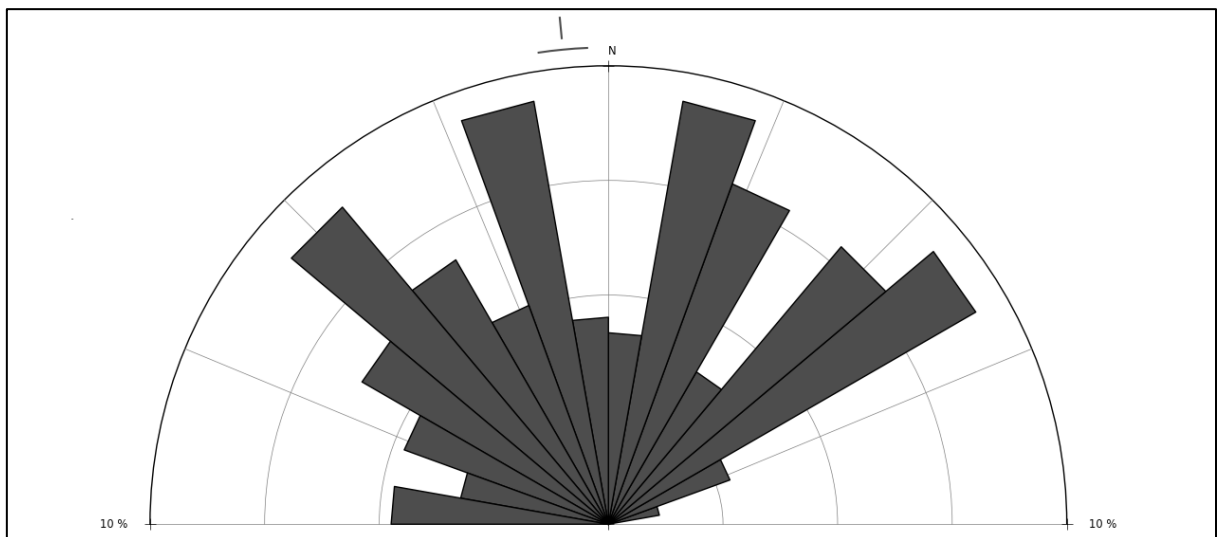


Figura 32- Roseta dos lineamentos da área de estudo.

A análise integrada das medidas de estruturas das zonas homólogas mostrou que se destacam os lineamentos de drenagem orientados segundo as direções NW-SE e NE-SW, e com menor expressão N-S e NWW-SEE (Figura 32).

De modo geral, essas direções refletem o escoamento dos canais de drenagem da área estudada. A direção N40–55E é dominante, pois corresponde a direção dos cursos das drenagens principais da área, Rio Pará, Baía do Capim e Rio Moju, que recebe a descarga, direta ou indireta, dos demais canais de drenagem da área. Outra direção dominante é a N30–50W, corresponde a grande parte das drenagens na área, incluindo os rios Abaeté, Arienga e Arapiranga de Beja. As duas direções acima citadas representam os maiores *trends* da área.

Os lineamentos NWW-SEE e N-S ocorrem em quase todas as ZHs, porém, são mais expressivas na ZH-I e ZH-II. Na primeira, orientam-se segundo a direção N-S os furos Açacu e Tucumanduba e o Rio Anapu, o Rio Maiauatá e Furo Grande orientam-se segundo a direção NWW-SEE. Na ZH-II, os igarapés Piratube e Camurituba estão orientados segundo a direção N-S e o Rio Abaeté e Igarapé Pontilhão na direção NWW-SEE.

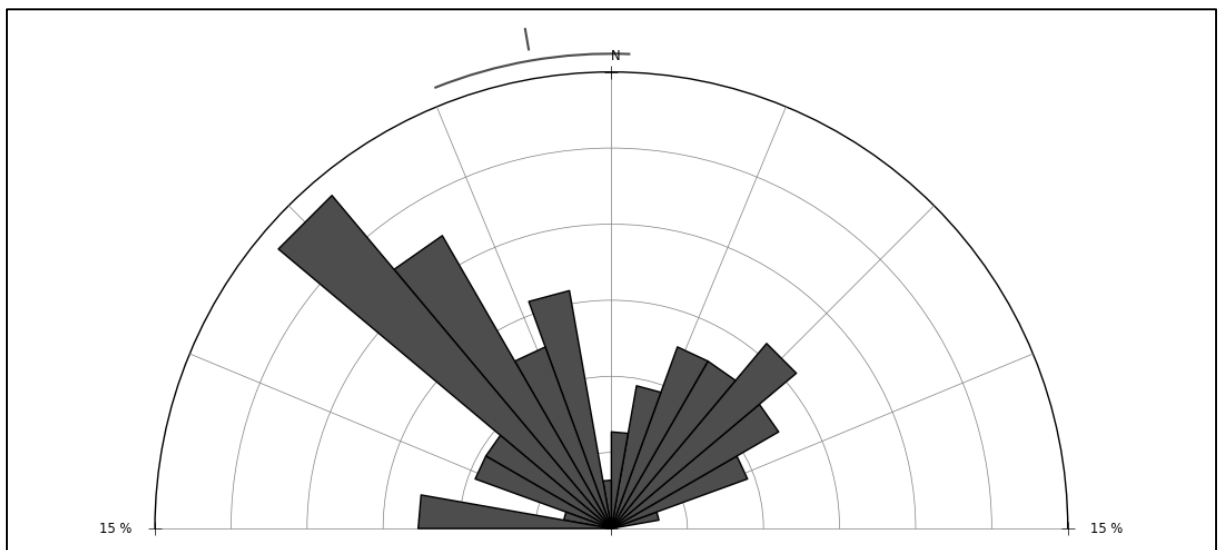


Figura 33- Roseta dos lineamentos da ZH-I.

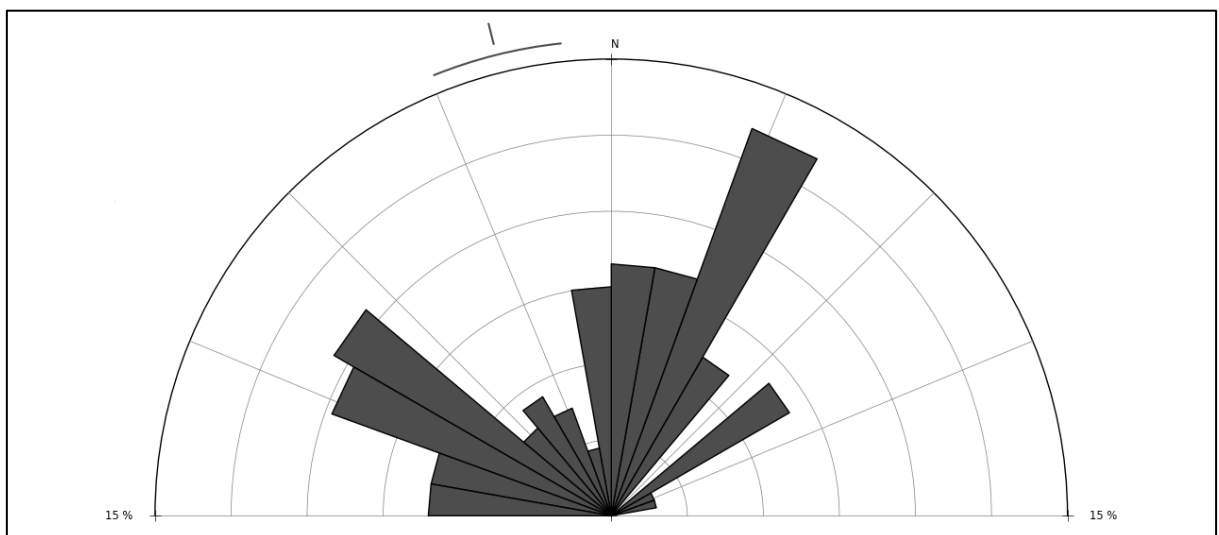


Figura 34- Roseta lineamentos da ZH-II.

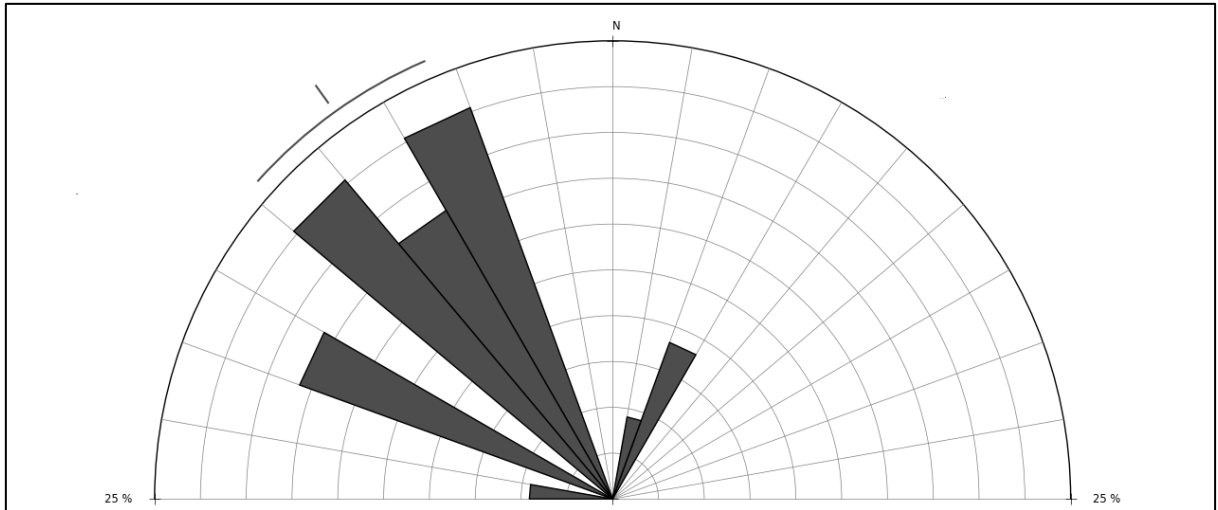


Figura 35- Roseta de lineamentos da ZH-III.

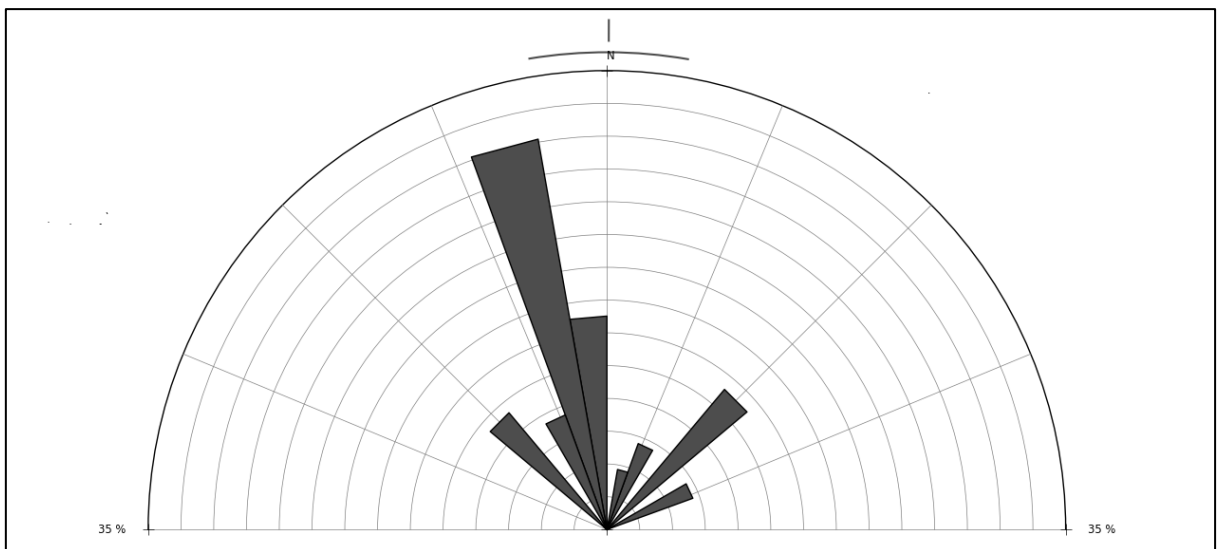


Figura 36- Roseta de lineamentos da ZH-IV.

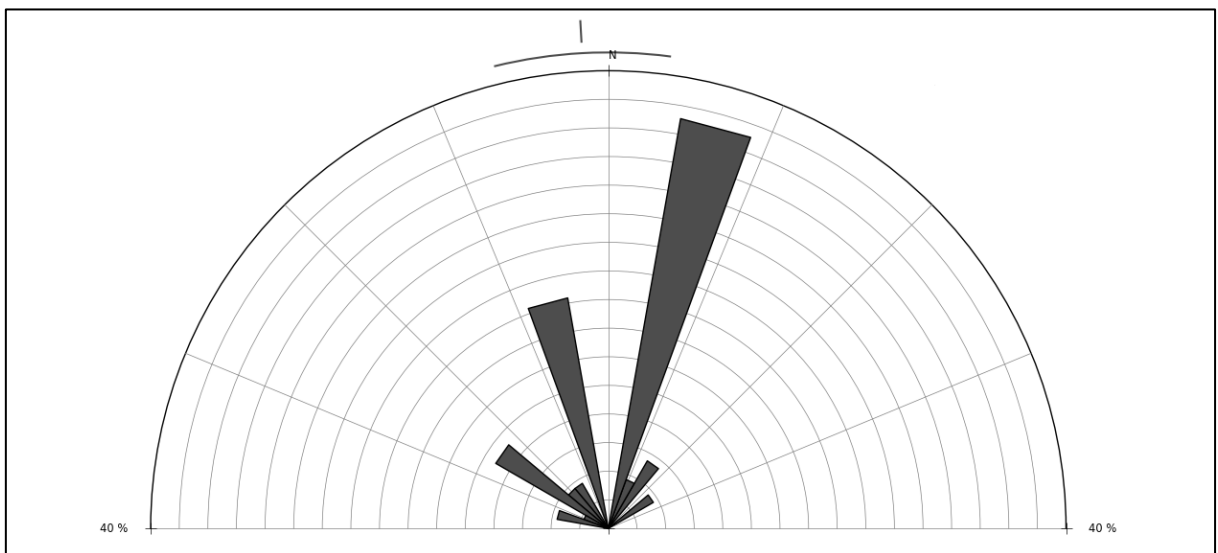


Figura 37- Roseta de lineamentos da ZH-V.

O Rio Anapu sofre uma inflexão de 30° para oeste próximo a sua desembocadura no Rio Pará, associada a presença de anomalia de drenagem tanto nos tributários como no próprio rio. Dobra em forma de Z e, forma em arcos e cotovelos (tributários) são observados (Figura 38). Essas anomalias marcam indicativos de movimentações dextrais e sinistrais associadas, respectivamente, as falhas transcorrentes NE-SW e NW-SE.

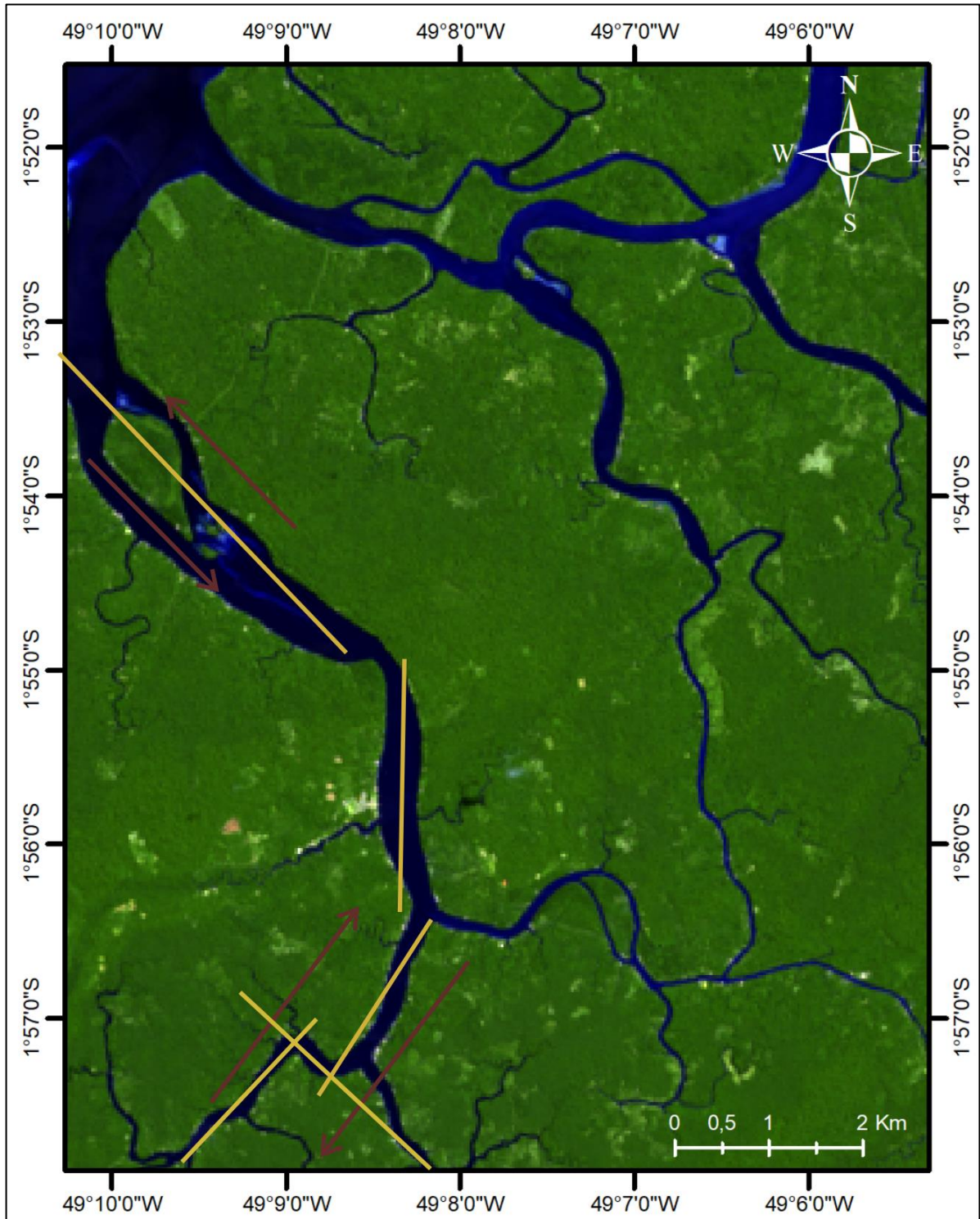


Figura 38- Identificação de falhas transcorrentes dextral (dobra em forma de Z) e sinistral (geometria morfológica), no Rio Meruú-açu. Legenda: linhas amarelas, lineamentos; setas vermelhas, cinemática.

Os rios Abaeté e Moju têm forte controle estrutural e apresentam importantes feições anômalas, geralmente, formadas por interseção de principais direções de lineamentos (rosetas das figuras 34 e 37). As anomalias presentes são indicativo de movimentações neotectônicas (Figuras 39 e 40). No Rio Abaeté, são representadas por longos segmentos retos NW-SE e NE-SW que se alternam bruscamente, interpretadas como falhas transcorrentes sinistras, identificadas por meio da análise da drenagem e morfologia. No Rio Moju, os segmentos se alteram de NE-SW para NWW-SEE e de NW-SW para NW-SE, configurando falhas transcorrentes dextrais e sinistras, respectivamente.

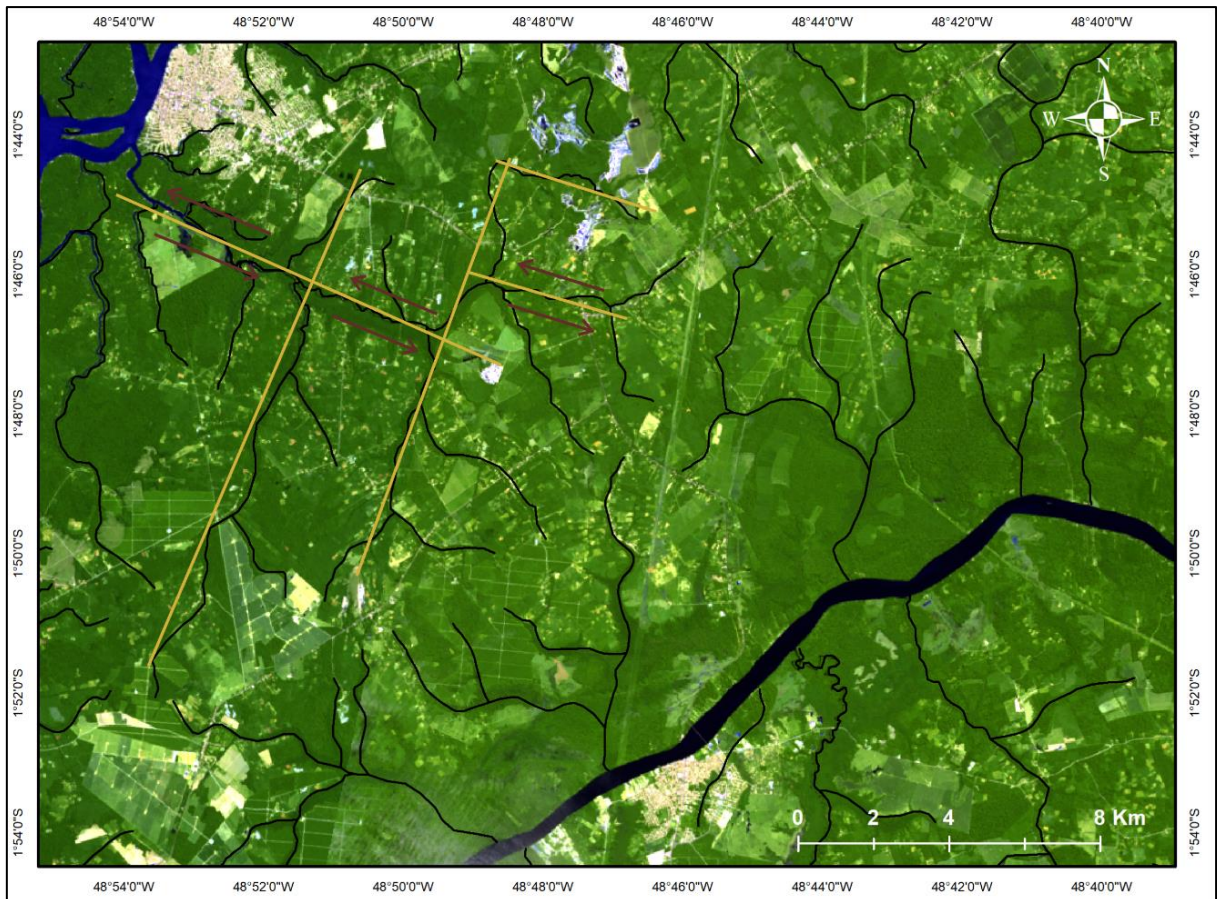


Figura 39- Falhas transcorrentes sinistras reconhecidas através da análise da drenagem no Rio Abaeté.

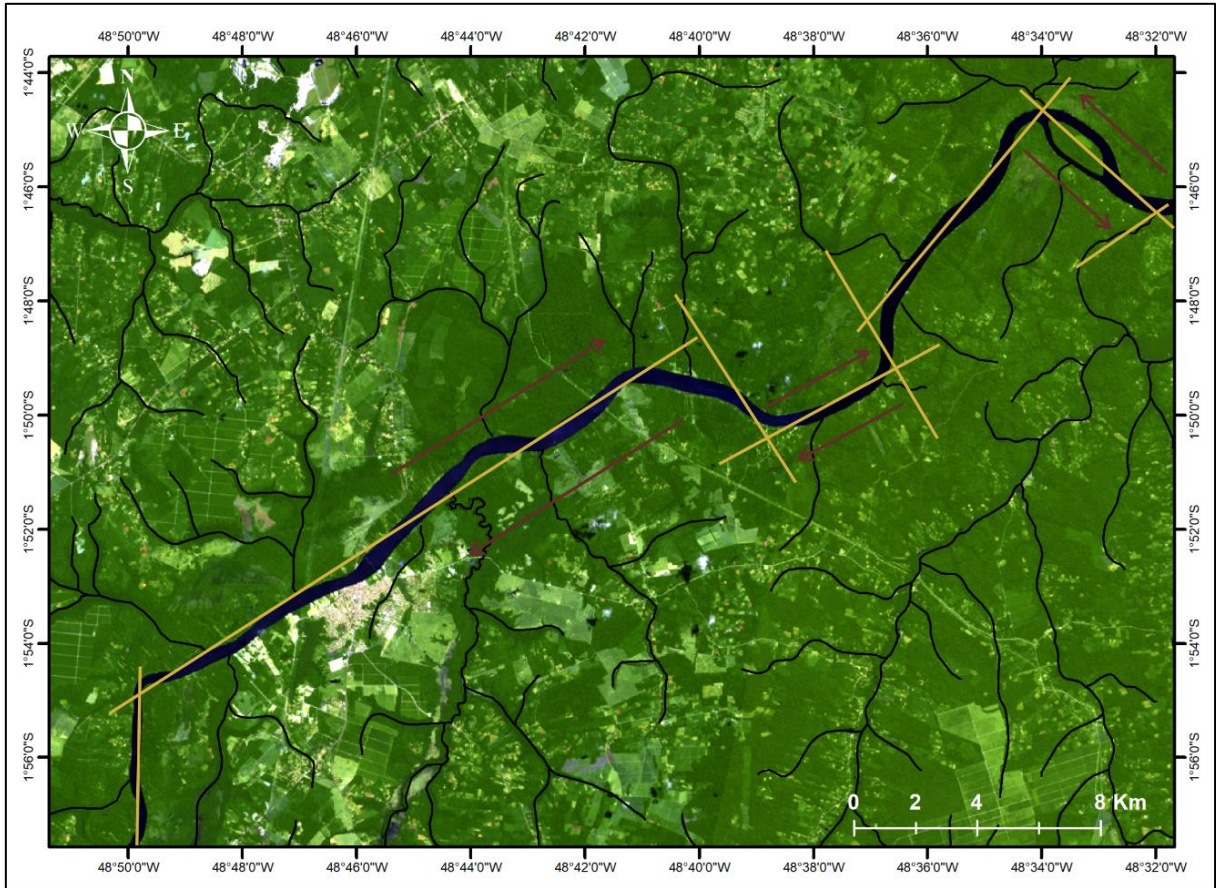


Figura 40- Falhas dextrais e sinistrais identificadas pela análise da drenagem e elementos morfológicos do Rio Moju.

Os rios Pará e Moju são os mais expressivos da área. Os tributários de maior ordem do Rio Pará estão orientados na direção NW-SE e do Rio Moju segundo a direção NW-SE, N-S e NE-SW, isso faz com que haja grande variação na direção dos tributários de ordem menores.

Anomalias em cotovelo, meandros isolados, arqueamentos são visíveis em toda área de estudo. A presença constante de anomalias de drenagem sugere um contexto neotectônico para a área.

Outra feição importante é a morfologia e orientação da Ilha Urubuêja, com geometria losangular e maior aresta orientada segundo a direção NE-SW (Figura 41), semelhantes as ilhas guajarinas descritas por Igreja¹² *et al.* (1990) citado em Costa (2004), as quais estão relacionadas ao processo de extensão litosférica, ainda ativos, com prismas sedimentares terciários sendo soerguidos pela rotação de “cunhas” devido a progressão da deformação. Atribuindo origem tectônica na formação de tais ilhas.

¹² Igreja H. L. S., Borges M. S., Alves R. J., Costa Júnior P. S., Costa J. B. S. 1990. *Estudo Neotectônico nas Ilhas de Outeiro e Mosqueiro*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36 Natal. Anais..., SBG – Núcleo Nordeste, v 5 p. 2110-2123.



Figura 41- Formato da Ilha Urubuéja e ilhas adjacentes com geometria losangular, orientadas preferencialmente segundo NE-SW.

4.3. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

O relevo da área de estudo está relacionado a unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia, tendo como características áreas colinosas e planícies revertidas por densa vegetação (Barbosa *et al.* 1974). O relevo varia de 0 a 55 metros de altitude (Figura 42

e 43) com baixa a média declividade (Figura 44), recortado pelos principais rios que compõe a área, Pará, Mojú, Abaeté e diversos tributários, os quais nota-se aplainamento nos vales. São observados dissecção fluvial, o qual proporciona a formação de relevo de degradação e de agradação.

O relevo é sustentado pelos depósitos siliciclásticos do Grupo Barreiras e paleossolo laterítico da Formação Pós-Barreiras e corresponde, segundo King (1956), a superfície de pediplanação pliocênica gerada no Ciclo Sul-Americano.

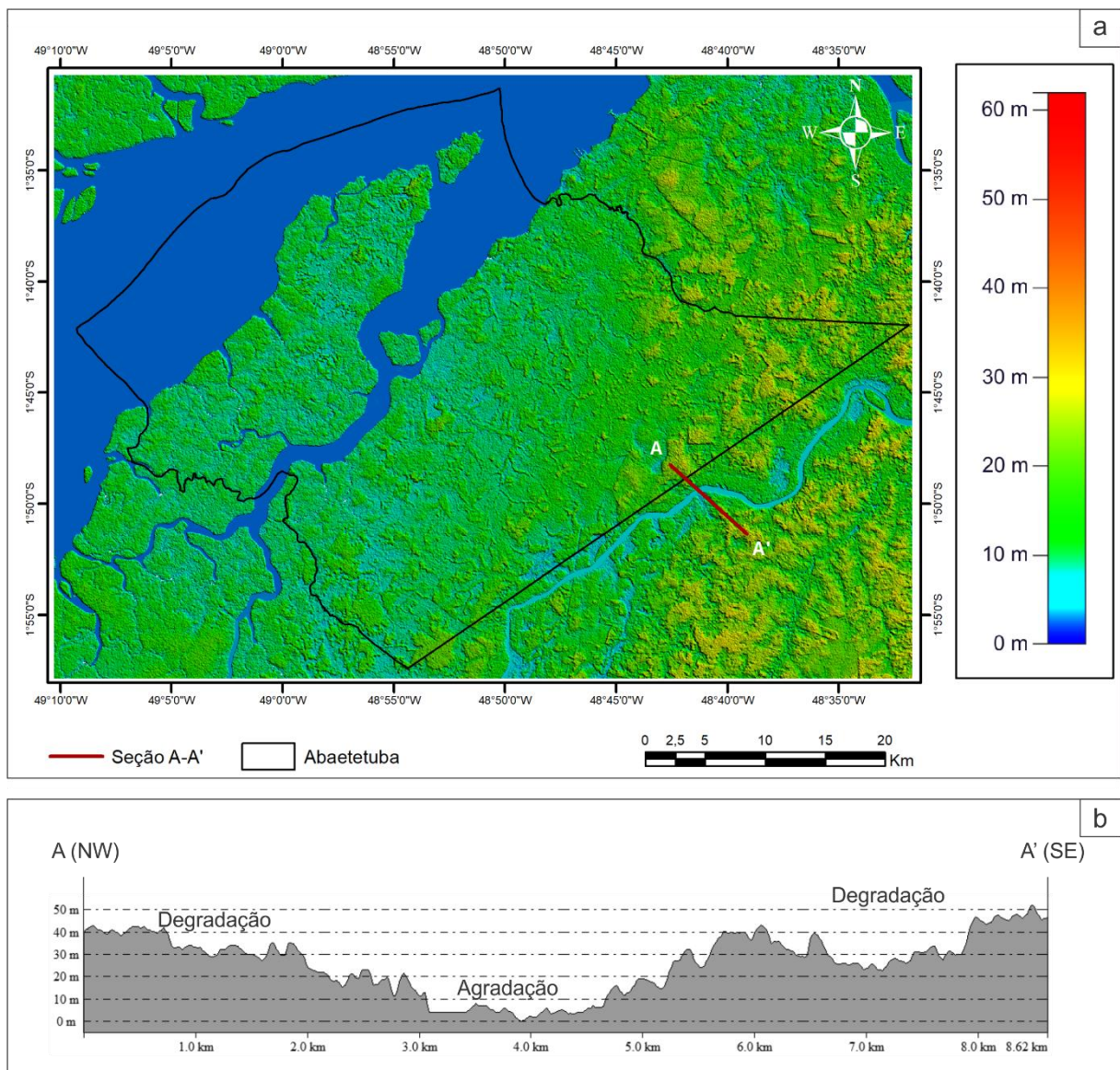


Figura 42- (a) Mapa altimétrico colorido do município de Abaetetuba e adjacências, criado a partir de SRTM. (b) Seção mostrando a variação do relevo.

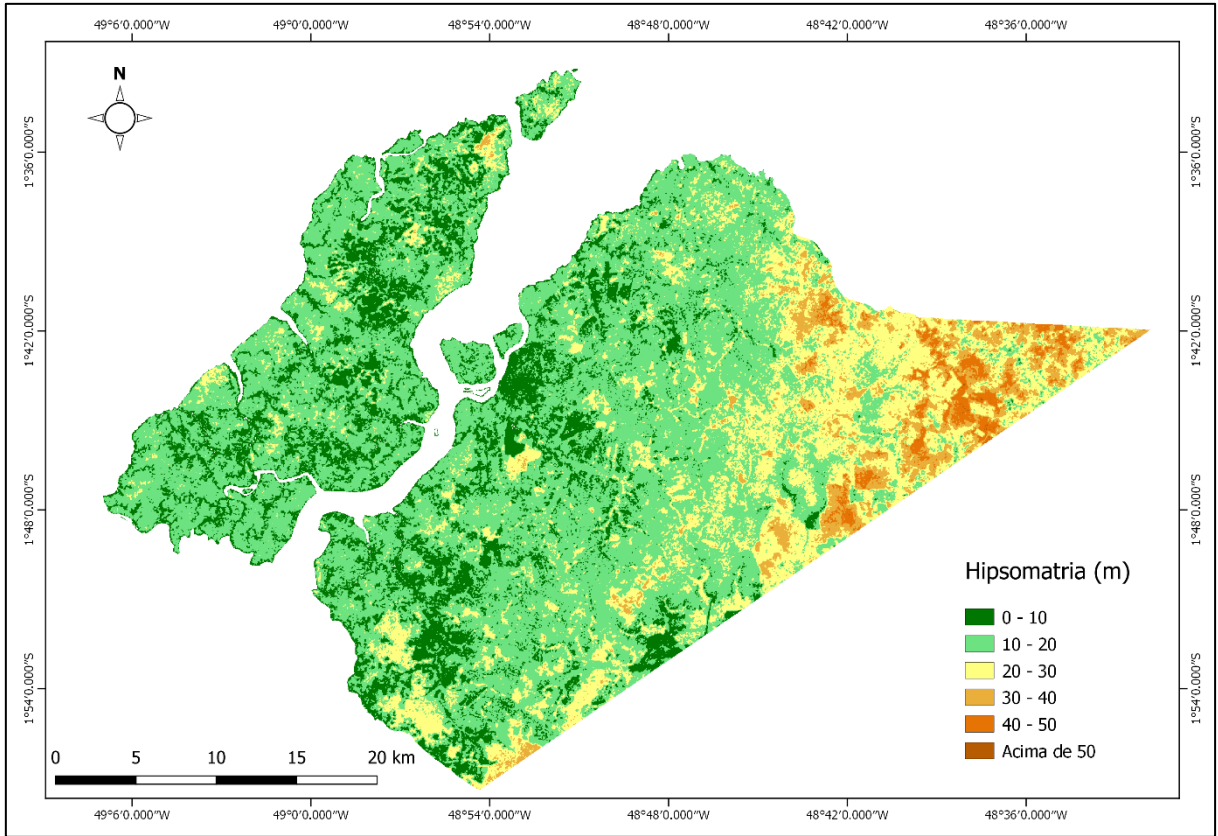


Figura 43- Mapa Hipsométrico de Abaetetuba, confeccionado a partir de SRTM.

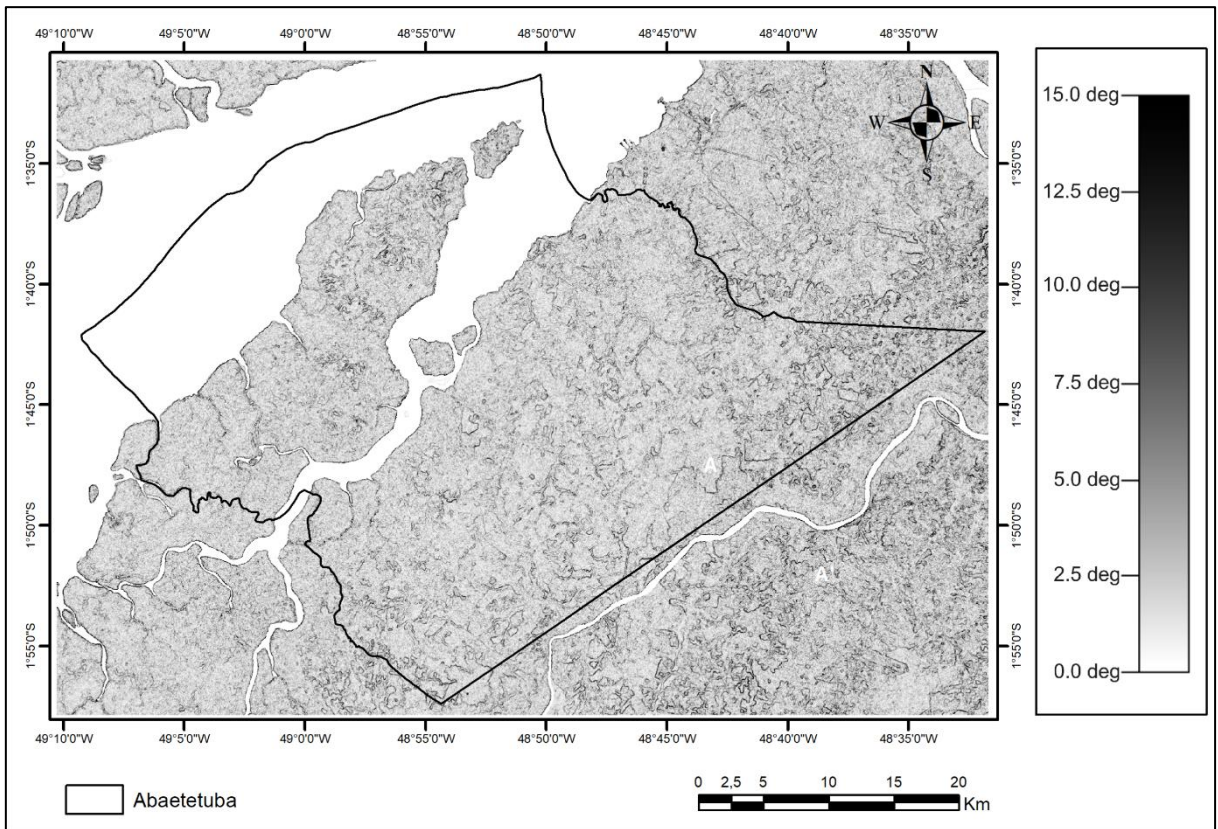


Figura 44- Mapa de declividade do município de Abaetetuba e adjacências, confeccionado a partir de um SRTM.

No município de Abaetetuba, esses litótipos nos níveis de topo proporcionam a formação de relevo residuais (morrotes) gradando para superfícies onduladas (colinas), correspondendo ao sistema de relevo formado por modelados de degradação. Nas áreas mais aplainadas, ao longo das margens dos rios, formam-se as planícies fluviais, correspondendo ao sistema de relevo formado pelo modelado de agradaciao (Figura 45).

As planícies fluviais têm maior expressao a sudeste, as margens do Rio Moju, também ocorrem margeando os rios Abaeté e Itacuruca e tributários. Nessas áreas, os valores de altitude variando de 0 a 10 metros, as quebras de relevo são pouco expressivas, de 1° a 4°, visto que nas planícies fluviais predominam a agradaciao, ocorrendo em média em cotas de 10 m (*vide* seção Figura 42). Na seção apresentada as quebras têm direção NE-SW e são interceptadas por quebras NW-SE, condizente com as principais direções dos lineamentos de drenagem. Em geral, as quebras de relevo acompanham a direção principal da drenagem e suas inflexões. No Rio Abaete, as quebras têm direção NW-SE interceptadas por quebras NE-SW. Nas margens do Rio Moju, a planície fluvial varia de tamanho ao longo do curso do rio, sendo maior ora na margem esquerda ora na margem direita, essas áreas têm influência direta de maré estando sujeitas a inundações periódicas. De acordo com Lima (2006), a ocorrência de terraços em uma margem contrastando com a ausência dos mesmos na outra margem pode ser indicador de movimentação tectônica.

As colinas são a base do sistema de relevo de degradação e corresponde a maior parte das formas de relevo presente na área. São caracterizadas por ter baixa elevação no terreno, topos planos a suavemente ondulados e baixa declividade na encosta (Florenzano 2008). Ocorrem em altitudes variando de 10 a 30 m, com quebras de relevo mais evidentes e maior inclinação das encostas, de 5° a 10°, caracterizando o relevo ondulado. As colinas, em geral, estão alinhadas segundo as direções NE-SW e NW-SE distribuídos por todas as cinco zonas homólogas de drenagem descritas. As quebras de relevo entre as formas colinosas e os morrotes é suave, evidenciando a pouca diferença na competência mecânica do material dissecado.

Os morrotes estão restritos na porção leste da área de estudo, são caracterizados por apresentarem topos abaulados e encostas com baixa a média declividade, vales abertos e formam perfis côncavo-convexo. Ocorrem em altitudes acima de 30 m, sendo considerado divisores de águas. Nas porções onde a dissecação do relevo é mais intensa, observa-se a formação de morrotes residuais como resultado do processo. Essas formas de relevo têm seus

topos alinhados nas direções NW-SE e NE-SW, e subordinadamente, quase N-S, coincidindo com a orientação dos principais lineamentos de drenagem encontrados na área.

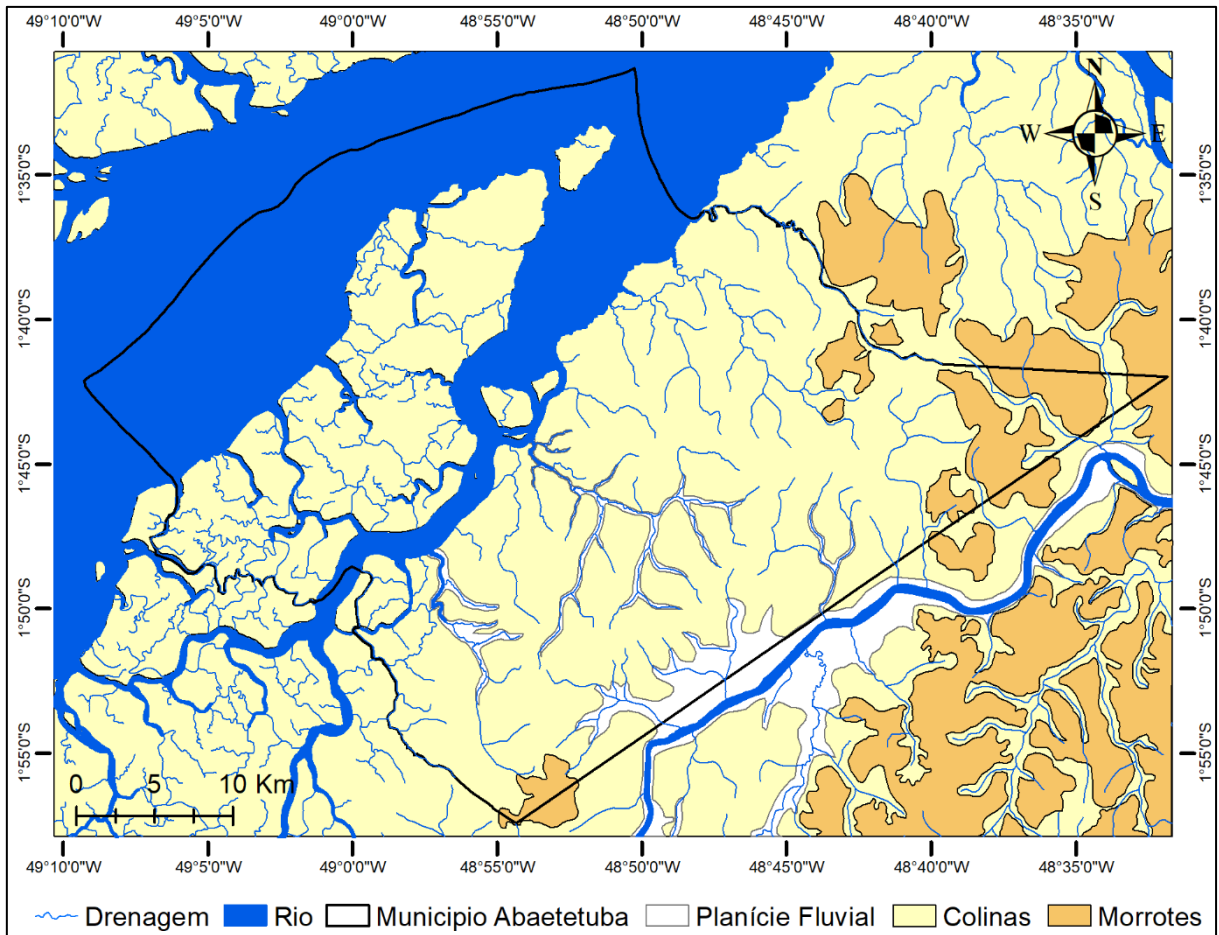


Figura 45- Mapa morfotectônico mostrando as principais variações do relevo da área de estudo.

Outras feições relevantes são a morfologia das ilhas, as quais apresentam formas aproximadamente losangulares (Figura 46).

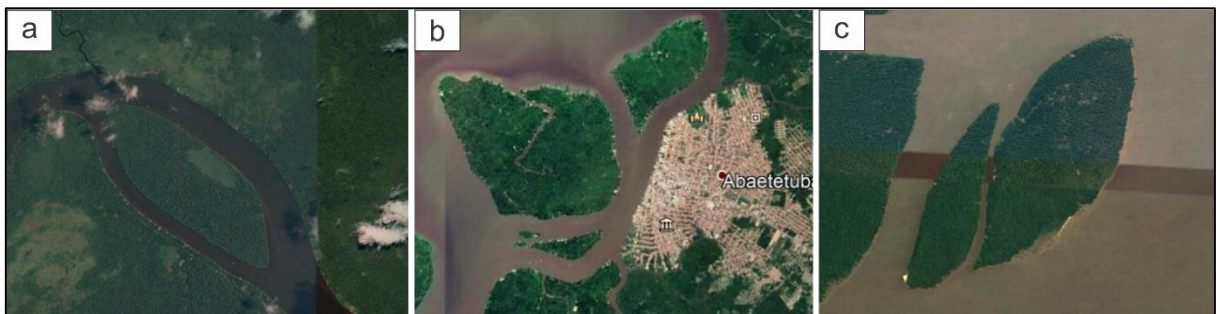


Figura 46- Exemplo de formas de relevo com geometrias losangulares que ocorrem na área. (a) Apresenta orientação NW-SW. (b) e (c) Apresentam orientação NE-SW. Fonte: Google Earth.

4.4. ANÁLISE INTEGRADA

A análise integrada da rede de drenagem e relevo sugere a presença de feições que indicam expressivo regime neotectônico na área, evidenciado principalmente pelos cursos de drenagem, os quais, apresentam vários indícios de controle estrutural no município e seus entornos.

As feições de relevo têm menor expressão na área de estudo. Isso se dá devido à pouca resistência a erosão dos materiais do qual este é formado, sendo constituído superficialmente por sedimentos inconsolidados da Formação Pós-Barreiras e pelo Grupo Barreiras, além de alta densidade de rios e grandes volumes de chuvas que tendem a aplainar o relevo, dificultando a preservação de estruturas que indicam influência de tectonismo. Ainda assim, foram observadas feições com formas losangulares. A origem dessa geometria pode estar associada a um regime de deformação não coaxial rúptil.

A rede de drenagem apresenta forte controle estrutural, com alinhamentos de drenagem orientados principalmente nas direções NE-SW, ocorrendo consideráveis alinhamentos na direção NW-SE, e também nas direções E-W e N-S. Ao contrário do relevo, apresenta diversas estruturas que indicam influência tectônica, ocorrendo com maior frequência as formas anômalas em S e Z, dobras em arcos e cotovelos. Outras anomalias de drenagem ocorrem com frequência, tais como: retilinearidade dos cursos de drenagem, aparecimento abrupto e localizado de meandros (meandros isolados), meandros comprimidos, alargamento abrupto dos canais de rios, curvas anômalas, canais anastomosados e outras. E ainda, o padrão de drenagem encontrado majoritariamente ao longo de toda rede de drenagem e o retangular, segundo Lima (2006), esse padrão é tipicamente desenvolvidos em áreas submetidas a controle estrutural.

Essas feições reforçam a existência de um controle estrutural que explicaria não somente os padrões de drenagem e as anomalias, mas também a configuração do conjunto de blocos tectônicos da área.

A partir desta análise, foi possível esboçar um arranjo geométrico bidimensional apresentados a seguir (Figura 47), com seus limites sendo definidos pelos lineamentos de drenagens e quebras de relevo (Figura 48).

Os blocos apresentam diferentes dimensões, a maioria com forma notavelmente losangular. A noroeste e a sul da área, o eixo principal dos blocos estão orientados na direção

NE-SW e, a N e NE a orientação dos eixos principais é na direção NW-SE. O vetor de decaimento da topografia é predominantemente para oeste, visto que as porções mais baixas do relevo encontram-se na área de costa, as margens do Rio Pará. Também é observado uma pequena variação da topografia a N com vetor de caimento para SW.

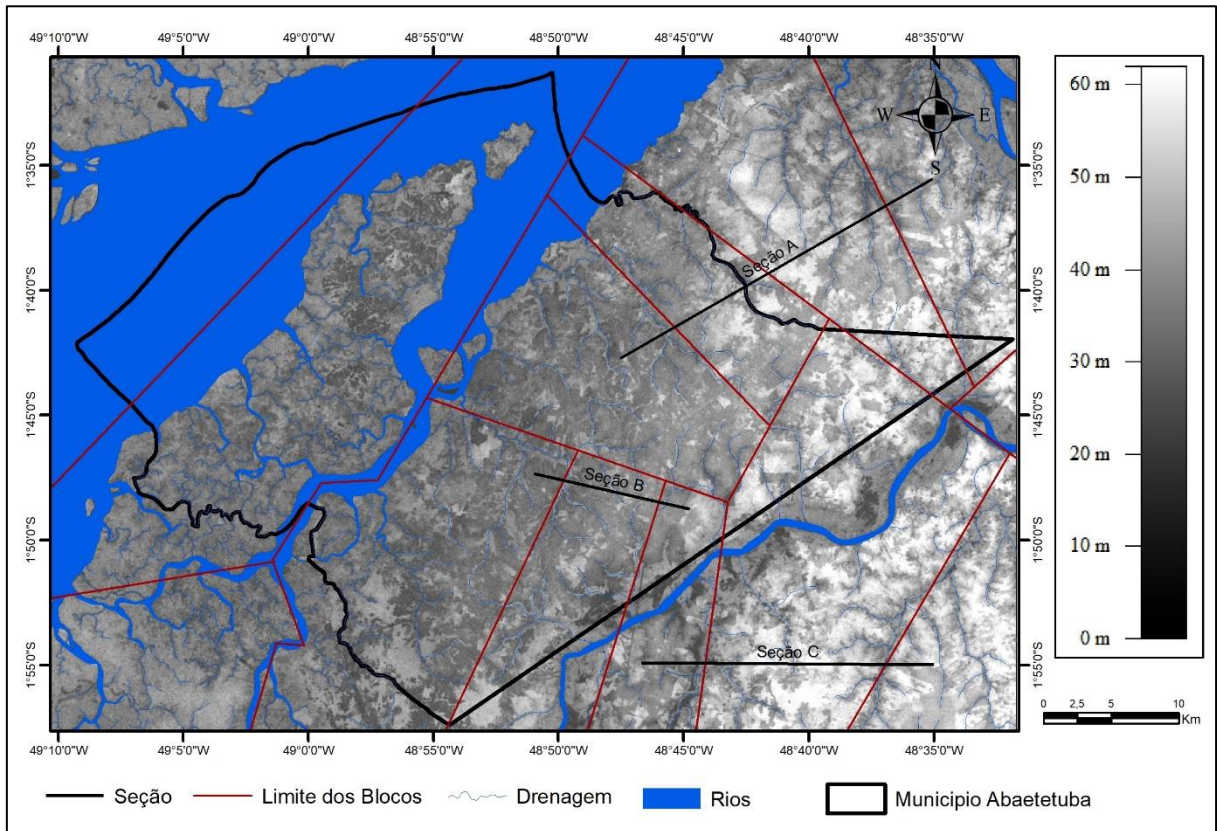


Figura 47- Mapa morfotectônico do município de Abaetetuba e regiões ao entorno.

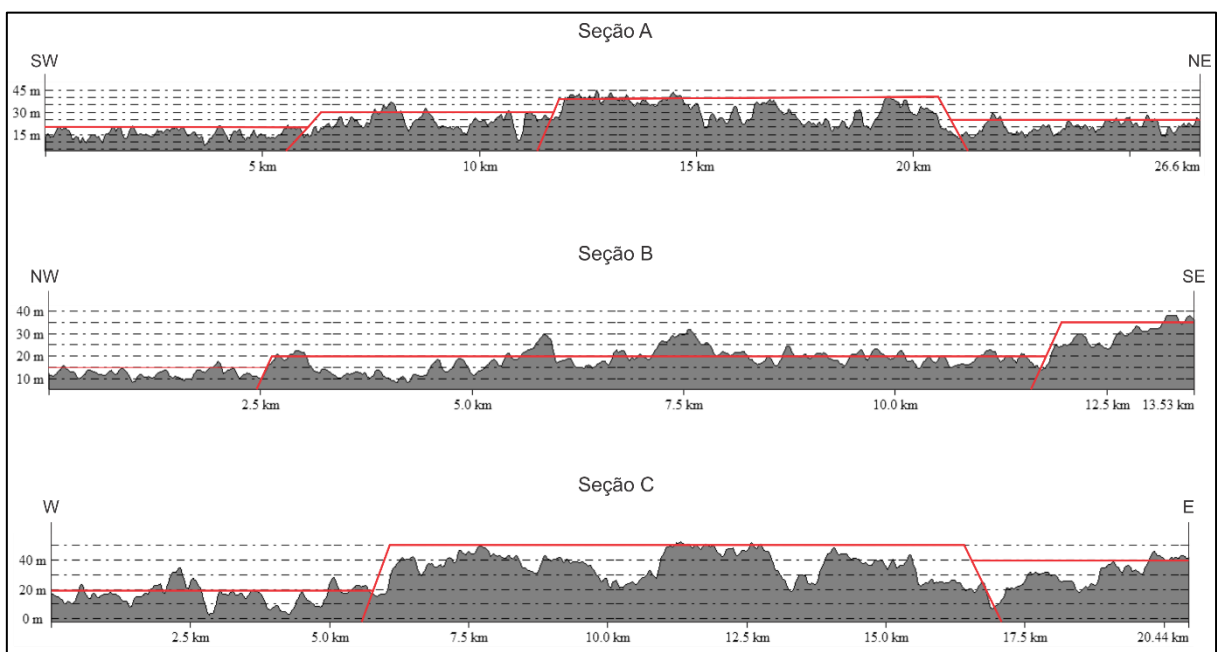


Figura 48- Seções da área de estudo mostrando a configuração dos blocos estruturais.

5. ASPECTOS CINEMÁTICOS E GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS

5.1. ASPECTOS CINEMÁTICO

A análise integrada dessas feições evidenciou a presença de estruturas formadas tipicamente em regime não coaxial rúptil com indícios de movimentação dextral e sinistral indicadas, respectivamente, pelas formas Z e S que ocorrem na rede de drenagem da área, porém, com predominância da segunda, indicando que a área foi submetida ao regime de cisalhamento simples com movimentação sinistral. A presença de feições indicativas de movimentação horária que ocorrem de maneira localizada em um regime de cisalhamento sinistral não é incomum, sendo previstas no Modelo de Riedel como a ocorrência de fraturas antitéticas, as quais, discordam do arranjo principal que uma área manifesta.

Na rede de drenagem, observam-se numerosos cursos de drenagem com segmentos retos seccionados por dobras em cotovelos, meandros isolados e ilhas com forma losangular, corroborando a existência de estruturas associadas ao cisalhamento simples.

A análise dessas feições sugere que a área de estudo esteve submetida a um regime estrutural de comportamento rúptil, o qual é responsável pelos aspectos de relevo e drenagem mais expressivos da área. A movimentação principal é dada pelos lineamentos com orientação NE-SW e cinemática sinistral, comprovado pela geometria losangular em forma de S da ilha Urubúéja e pelas formas em S presentes nos cursos de drenagem de direção NW-SE que são interceptadas por esses lineamentos. Também são observadas formas em Z segundo NE-SW indicando a presença de transcorrência nessa direção. Nas margens dos vales dos principais rios presentes na área, Pará e Moju, ocorrem escarpas com orientação NE-SW (secundariamente E-W nos tributários), indicando que as forças trativas estão orientadas em um eixo NW-SE (perpendicular à orientação das escarpas).

Deste modo, o quadro neotectônico da área de estudo está marcado por falhas normais orientadas segundo NE-SW, interligadas por falhas transcorrentes sinistrais orientadas na direção NNE-SSW e falhas transtensivas sinistrais WNW-ESE. Tais informações são condizentes com o modelo proposto por Igreja *et. al.* (1990) citado por Costa (2004), o qual estabeleceu que a direção de maior estiramento (σ_3) corresponde a NW-SE e de menor estiramento (σ_1) na direção NE-SW, gerando falhas normais na direção NE-SW.

Este quadro é similar ao proposto por outros autores que abordam a influência neotectônica na região do nordeste paraense. Em escala regional, Costa & Hasui (1997)

definiram um arcabouço morfoestrutural constituído por blocos para a região amazônica. Em menor escala, Costa (2004), Bandeira (2008), Palheta (2008), Carmona (2013) e Centeno (2016) definiram o arcabouço morfoestrutural em blocos para a Região Metropolitana de Belém, Castanhal, Mosqueiro, Bacia Hidrográfica do Tauá e Salinópolis.

Diversos pesquisadores (Borges¹³ *et al.* 1997, Cavalcante¹⁴ 1997, Costa & El Robrini¹⁵ 1992, Igreja *et al.* 1990, Monteiro¹⁶ *et al.* 1992 *apud* Costa 2004, Hasui & Costa 1991) definiram dois feixes principais de descontinuidades na região: na direção NE-SW, relacionado as falhas normais como citado neste trabalho; e na direção NW-SE relacionado a falhas de transferências. E Costa & Hasui (1991), propuseram a existência de falhas transcorrentes nas direções WNW-ESE, NNE-SSW e NE-SW.

5.2. GEOMETRIA DOS AQUÍFEROS

Como já mencionado, a atuação neotectônica modifica o arranjo espacial dos pacotes sedimentares. Isto se reflete na mudança nos mergulhos em que as camadas foram originalmente depositadas. Segundo Costa (2004), essas mudanças podem atuar diretamente nas características dos aquíferos como continuidade lateral, vazão, recarga, etc.

Com o quadro estrutural geométrico e cinemático da área de estudo definido, buscou-se construir um modelo tridimensional dos aquíferos utilizando as informações de perfis construtivos disponível no banco de dados do SIAGAS.

Ao todo, há 201 poços cadastrados dentro dos limites da área estudada, com profundidades variando de 11 m a 252 m (Figura 49), alguns dados dos poços estão organizados em uma tabela ao final deste documento (Apêndice 1).

¹³ Borges M. S., Costa J. B. S., Hasui Y., Fernandes J. M. G., Bemerguy, R. L. 1997. *Instalação e inversão da Bacia do Capim*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6. Pirenópolis. Anais. Brasília:SBG/UNB. p 134-135.

¹⁴ Cavalcante L. M. 1997. *Contribuição a Geologia da Margem NW da Ilha do Mosqueiro, Nordeste do estado do Pará*. Belém. UFPA. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Geociências. Belém, 49p.

¹⁵ Costa W. J. P. & El-Robrini M. 1992. *Evolução Morfo-Estrutural de uma Ilha Estuarina: Ilha do Mosqueiro, Baía do Marajó, Norte-Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. Anais. V.1, p.197.

¹⁶ Monteiro E. C., Luczynski E., Souza P. G. N. 1992. *Estágio de Campo III – Ilha de Mosqueiro/PA. Projeto Nordeste do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências. 116 p. (Relatório Final).

Correlacionou-se perfis pertencentes ao mesmo bloco, visto que perfis de blocos diferentes não podem ser correlacionados, pois cada bloco se comportou de forma diferente durante a atuação neotectônica.

O método dos três pontos foi utilizado para obtenção do mergulho e gradiente das camadas dos blocos A, B e C, confeccionado a partir da profundidade de uma camada guia previamente escolhida, com espessura de tamanho considerável e uniforme (Figura 50, 51 e 52).

Os dados utilizados na confecção dos mapas de gradiente e o resumo dos dados obtidos estão organizados na tabela 5. Os perfis construtivos utilizados encontram-se disponíveis e a correlação entre os perfis (seções) estão em anexo (Apêndice 2).

Tabela 5- Resumo informações dos blocos tectônicos analisados.

Bloco	Figura	Poços	Gradiente (m/m)	Sentido do Mergulho
A	Figura 51	2377, 2379 e 2103	2/25	SSE
B	Figura 52	7035, 7033 e 7032	2/60	NNE
C	Figura 53	7022, 2231 e 2241	3/1900	SW

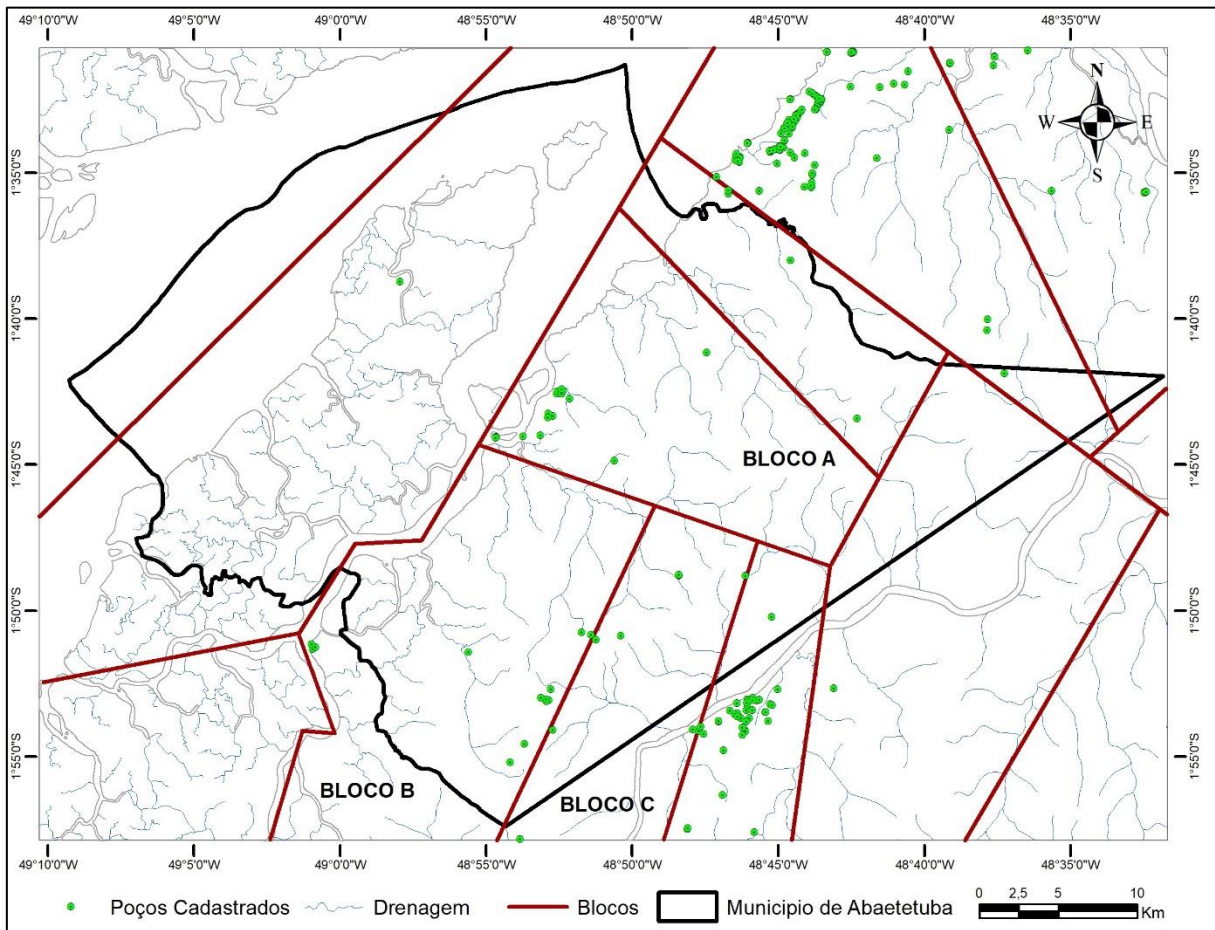


Figura 49- Mapa dos poços cadastrados no banco de dados do SIAGAS.

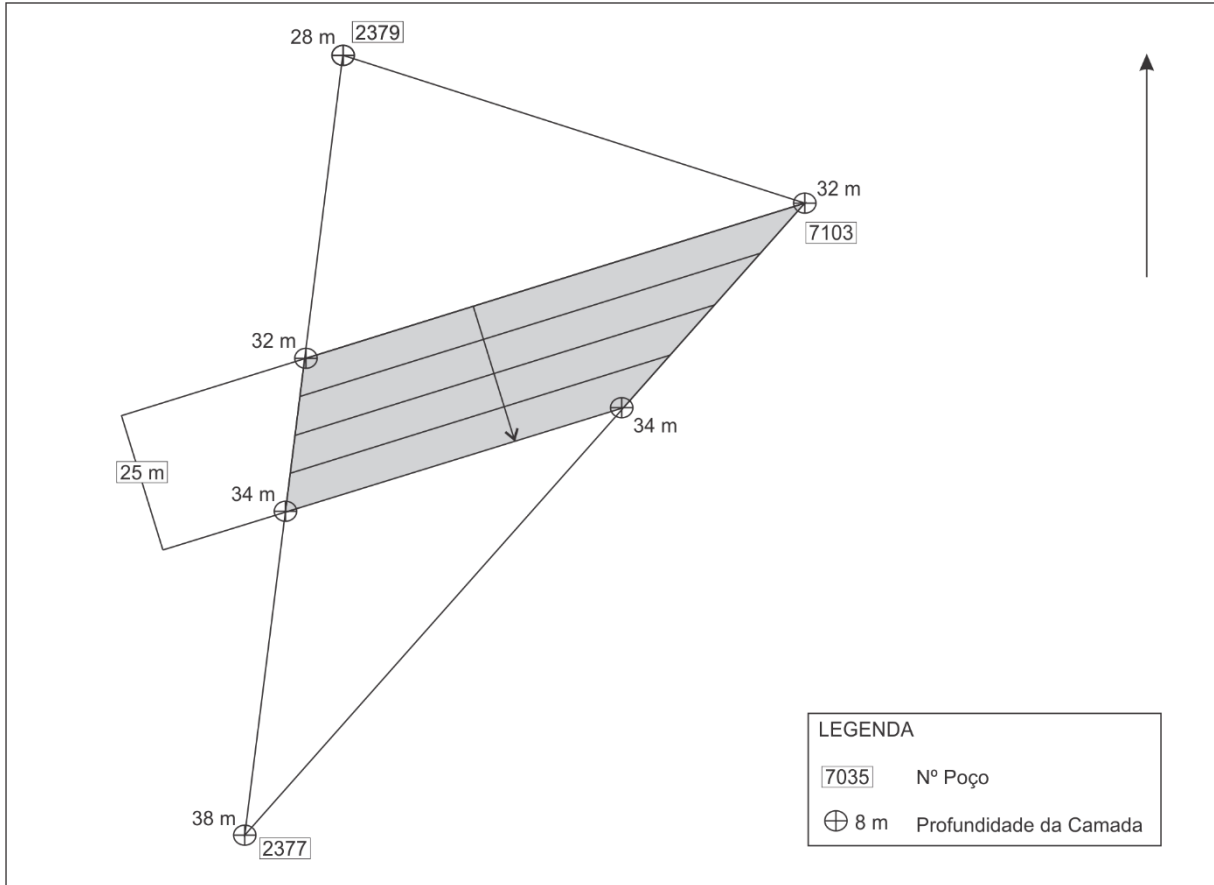


Figura 50- Bloco A, esquema mostrando alto valor do gradiente, com a camada guia mergulhando 2 m a cada 25 m na direção SSE.

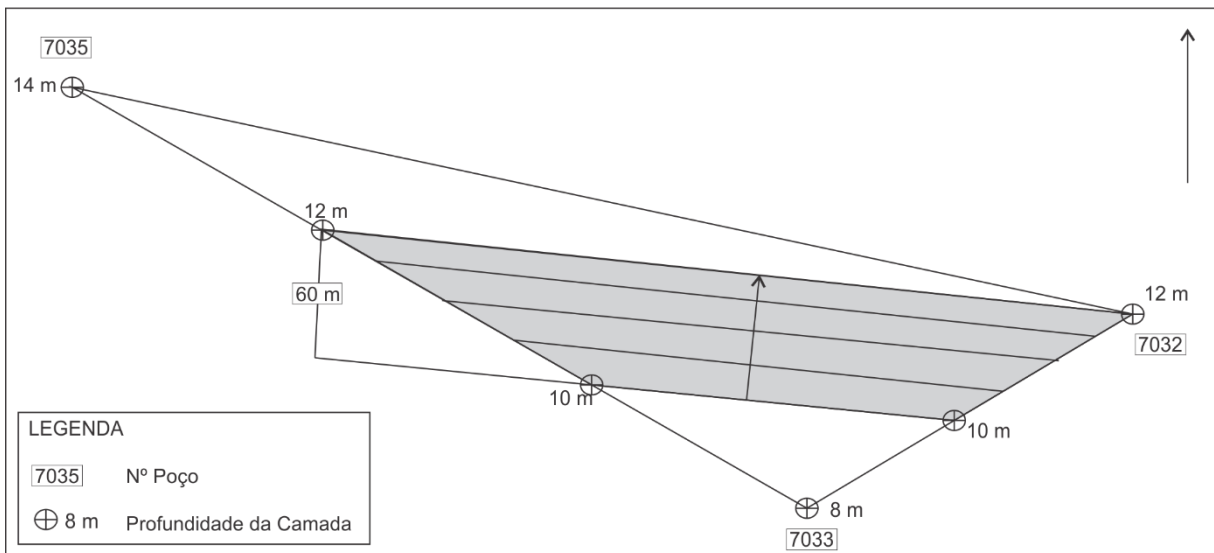


Figura 51- Bloco B, o esquema mostra o mergulho da camada guia para NNE com gradiente da camada mergulhando 2 m a cada 60 m.

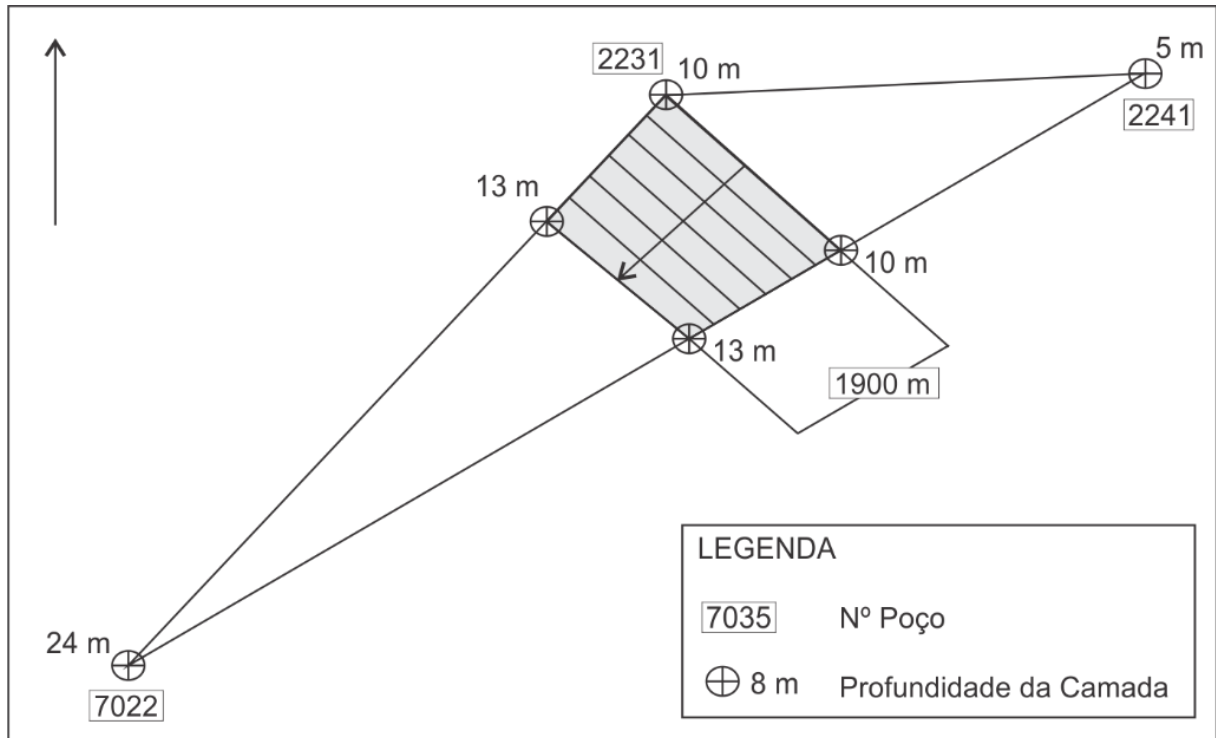


Figura 52- Bloco C, mostrando o fraco mergulho da camada guia para SW com gradiente 3 m a cada 1900 m.

Com base nas informações do banco de dados do SIAGAS, análise dos perfis e mapas de gradientes é possível obter algumas informações acerca dos arranjos geométricos das camadas e por consequência dos aquíferos presentes na área de estudo.

A atitude a qual a acamada foi originalmente depositada sofreu modificação em função da atuação dos processos tectônicos ocorridos na área, o qual teve seus efeitos e resultados caracterizados no estudo morfoestrutural da área de estudo.

Os blocos tectônicos tiveram os processos tectônicos atuando em intensidades diferentes. Isto é percebido pela variação do gradiente de mergulho entre os blocos, sendo mais intenso a norte. A rotação dos blocos não foi homogênea, visto que apresentam diferentes sentido de mergulho.

Em relação aos aquíferos, na área de estudo o sistema hidrogeológico está ligado ao Grupo Barreiras, estando livre nos estratos mais superficial e confinado nos estratos mais profundos. Nos aquíferos livres, a recarga ocorre pela infiltração das águas superficiais. Nos aquíferos confinados, a recarga ocorre de forma bem lenta a partir de drenança vertical, em camadas arenosas confinadas em um único bloco com ausência de intercepções por falhas.

No entanto, o forte controle tectônico que a área foi submetida influencia diretamente as características dos aquíferos. A presença de falhas normais instaladas perpendicularmente à direção de tração (NW-SE) pode favorecer a recarga dos aquíferos mais profundos da região,

visto que as direções das falhas normais são consideradas superfícies potenciais de menor pressão sendo, portanto, locais mais favoráveis a recargas de aquíferos interceptados por elas (Figura 53).

Além da recarga dos aquíferos, o controle tectônico exercido na área também causa modificação nos padrões do fluxo hídrico subterrâneo, pois as falhas deslocam camadas rochosas em diferentes patamares horizontais, alterando a inclinação e a exposição de rochas porosas e, conseqüentemente, provocando diferentes pressões em uma mesma camada ou em diferentes profundidades (Centeno, 2016).

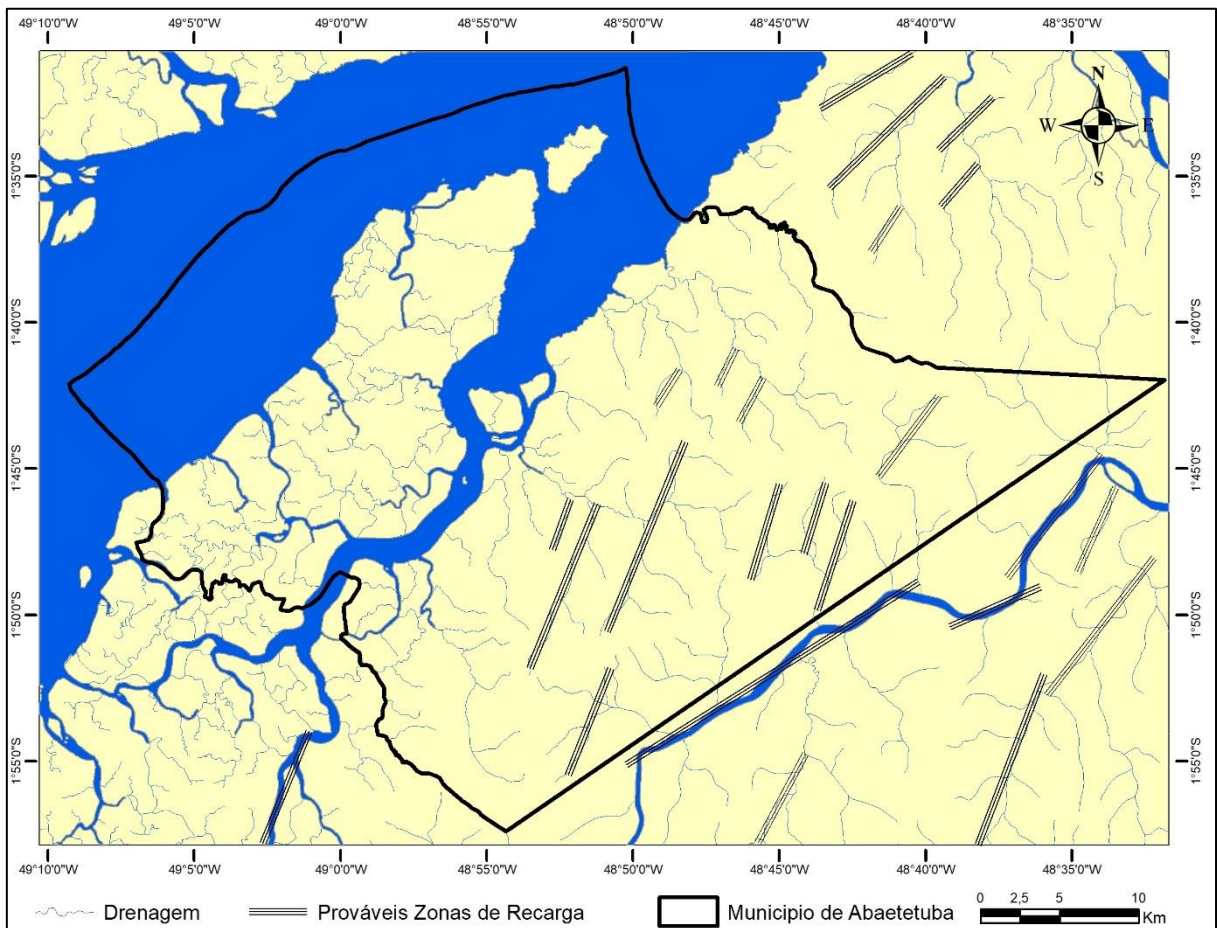


Figura 53- Mapa de prováveis recargas dos aquíferos da região.

A modificação dos fluxos subterrâneos e a interação dos corpos hídricos superficiais e profundos ocasiona maior vulnerabilidade a contaminação, já que contaminantes poderiam se deslocar mais facilmente para camadas mais profundas por meio de discontinuidades presentes nas rochas. Logo, as áreas onde ocorrem as prováveis zonas de recargas devem ser preservadas, evitando possíveis ocupações urbanas e industriais, a fim de evitar impermeabilização do solo, desmatamentos e inadequada destinação de resíduos sólido.

6. GEOPROCESSAMENTO

Durante o desenvolvimento do trabalho foram gerados 29 *layers* de informações, usados direta ou indiretamente no presente trabalho, estruturados em um SIG, associado a um banco de dados, dividido nos grupos temáticos a seguir.

Os *layers* do grupo temático imagem são compostos por:

- Imagem *landsat* em composição colorida RGB 764 (falsa cor) da área de estudo.
- Imagem *landsat* em composição colorida RGB 764 (falsa cor) da área do Rio Meruú-Açu.
- Imagem *landsat* em composição colorida RGB 764 (falsa cor) da área do Rio Moju.
- Imagem *landsat* em composição colorida RGB 764 (falsa cor) da área da Ilha Urubuéja

Os *layers* do grupo temático análise da drenagem são compostos por:

- Rede de drenagem da área de estudo.
- Recorte rede de drenagem da ZH-I.
- Recorte rede de drenagem da ZH-II.
- Recorte rede de drenagem da ZH-III.
- Recorte rede de drenagem da ZH-IV.
- Recorte rede de drenagem da ZH-V.

Os *layers* do grupo temático análise dos lineamentos são compostos por:

- Feições lineares da área de estudo.
- Recorte feições lineares da ZH-I.
- Recorte feições lineares da ZH-II.
- Recorte feições lineares da ZH-III.
- Recorte feições lineares da ZH-IV.
- Recorte feições lineares da ZH-V.

Os *layers* do grupo temático geologia e geomorfologia são compostos por:

- Mapa geológico da área de estudo.

- Mapa altimétrico da área de estudo.
- Mapa hipsométrico do município de Abaetetuba.
- Mapa de declividade da área de estudo.
- Mapa geomorfológico da área de estudo.
- Mapa morfotectônico da área de estudo.

Os *layers* do grupo temático modelamento digital de elevação são compostos por:

- Recorte da imagem do Radar SRTM resolução 90 m.
- Recorte da imagem do Radar SRTM resolução 30 m
- Recorte imagem do Radar *Alos Palsar* resolução 30 m.
- Recorte imagem do Radar *Alos Palsar* resolução 12 m.

Os *layers* do grupo hidrogeologia são compostos por:

- Mapa de localização dos poços na área de estudo cadastrados no banco de dados do Siargas.
- Mapa de prováveis áreas de recarga dos aquíferos.

O *layer* do grupo uso e ocupação do solo é composto por:

- Mapa de localização da área de estudo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente trabalho foram obtidos através da análise morfoestrutural por meio de diferentes técnicas de sensoriamento remoto, o qual permitiu extrair informações para alcançar os objetivos porpostos. Apesar do trabalho se fazer uso de uma metodologia indireta, está é embasada em inúmeros trabalhos que já confirmaram sua eficácia, tornando comum o uso da análise de drenagem e geomorfológica como instrumento para identificar manifestações neotectônicas.

A análise da rede de drenagem usando a metodologia de Soares e Fiore (1976) permitiu identificar na área de estudo em cinco zonas homólogas, as quais foram extraídas as feições lineares da drenagem, onde predominam as direções NE-SW, NW-SE e WNW-ESE. Para análise geomorfológica adotou-se o modelo hierárquico de classificação do Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), sendo individualizados dois sistemas de relevo: agradação (planície fluvial) e degradação (morrotes e colinas). A análise integrada permitiu definir, através do prolongamento dos lineamentos de drenagem e alinhamentos das escarpas, o arranjo bidimensional de polígonos que, tridimensionalmente definem os blocos tectônicos. Como componente vertical, para definir tridimensionalmente os blocos estruturais, foram usados perfis construtivos de poços cadastrados no banco de dados do SIARGAS. A definição dos blocos tectônicos permitiu uma melhor compreensão da morfotectônica da área de estudo, marcadas pelas formas de relevo identificadas na área.

Este modelo de blocos tectônicos foi proposto por vários autores que abordam a influência neotectônica no nordeste paraense, em escala regional Costa e Hasui (1997) definiram um arcabouço morfoestrutural constituído por blocos para a região amazônica, esse modelo se repete, com suas particularidades, em áreas menores como demonstrado nos trabalhos de Costa (2004), Bandeira (2008), Palheta (2008), Carmona (2013) e Centeno (2016), portanto, sendo consistente com o quadro regional.

O quadro neotectônico da área de estudo foi definido a partir da aplicação do Modelo de Riedel, sendo este marcado por falhas normais orientadas segundo NE-SW, interligadas por falhas transcorrentes sinistrais orientadas na direção NNE-SSW e falhas transtensivas sinistrais para WNW-ESE, estabelecendo que a direção de maior estiramento (σ_3) corresponde a NW-SE e de menor estiramento (σ_1) na direção NE-SW.

Os resultados alcançados são semelhantes a estudos realizados as proximidades da área de estudo, o qual sugere forte indícios que a região está submetida a um regime neotectônico transtrativo, assim como toda região do Nordeste Paraense, relacionados, segundo Costa e Hasui (1991), a rotação da Placa Sul-Americana de leste para oeste, devido a atuação de um binário dextral E-W. A área de estudo encontra-se próxima ao limite entre a Bacia do Marajó e a Plataforma do Pará, estando sujeita a maiores deformações, e com o maior desenvolvimento de feições estruturais, isto pode ser observado pela densidade de elementos estruturais a oeste da área.

O controle estrutural influi diretamente nas características dos aquíferos, modificando a continuidade lateral, caimento das camadas e alteração do fluxo hídrico, tornando este último bem mais complexo, além de aumentar a interação de água de aquíferos de profundidades distintas.

As falhas trativas (NW/SE) deste arranjo são prováveis zonas de recargas para o sistema hidrogeológico, portanto, recomenda-se que essas regiões sejam preservadas a fim de evitar que contaminantes penetrem nas águas armazenadas nos mananciais subterrâneos, visto que estes constituem um importante recurso natural e uma vez comprometidos, a dificuldade e o custo para recuperação dos mesmos são bem maiores comparados a recuperação de mananciais superficiais.

Por fim, na perspectiva do avanço do conhecimento geológico da área, sugere-se dentre outros seguintes pontos:

- Utilização de métodos geofísicos definir a extensão e profundidade das feições estruturais, assim como a geometria dos pacotes sedimentares e de que forma estão sendo afetados por tais estruturas;
- Nivelamento de poços com a finalidade de melhor definição espacial dos pacotes geológicos e sistemas aquíferos na medida em que esse procedimento fortalece os aspectos de correlação litoestratigráficas;
- Estabelecimento do fluxo subterrâneo à luz dessa abordagem geológica a qual enfatiza a influência neotectônica;
- Definição espacial de áreas de recarga e de circulação das águas subterrâneas com vista a protegê-las.

REFERÊNCIAS

- Amaral G. 1974. *Geologia Pré-Cambriana da região Amazônica*. TS Livre Docência. Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 212 p.
- Ambientare 2017. *Estudo de Impacto Ambiental – EIA: terminal portuário de uso privado – TUP Abaetetuba*. Ambientare, Soluções Ambientais Ltda.
- Arai M. 1997. Dinoflagelados (*Dynophyceae*) miocênicos do Grupo Barreiras do Nordeste do Estado do Pará (Brasil). *Revista Universidade Guarulhos, Geociências II* (nº especial) : 98-106.
- Arai M. 2006. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Revista do Instituto de Geociências – USP, Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, **6** (2) : 1-6.
- Bandeira I. C. N. 2008. *Neotectônica e estruturação dos sistemas hidrogeológicos da região de Castanhal/PA*. DS Mestrado, Programa e Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 144 p.
- Barbosa G.V., Rennó C. V., Franco E. M. S. 1974. Geomorfologia. *In: Brasil. Projeto Radam. Folha SA.22 Belém: geologia, geomorfologia, solo, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral.
- Bezerra P. E. L. 2003. *Compartimentação morfotectônica do interflúvio Solimões-Negro*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 154 p.
- Burrough P.A. 1986. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Oxford University Press, 194 p.
- Câmara G. & Medeiros J. S. 1998. Modelagem de dados em geoprocessamento. *In: Câmara G. & Medeiros J. S. (Org). Geoprocessamento para projetos ambientais*. São José dos Campos – SP, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 01-35.
- Câmara G. & Queiroz G. R. 2001. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. *In: Câmara G., Daves C., Monteiro A. M. V. (Orgs). Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 41-75.
- Carmo Filho J. C. 2008. *Especialização de arquitetura em sistemas de saúde*. Monografia, Faculdade de Arquitetura da UFBA, Salvador-BA, 57 p.
- Carmona K. M. (2013). *Hidrogeoquímica e Neotectônica da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá, Nordeste do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. Belém, 110 p.
- Centeno V. V. 2016. *Neotectônica aplicada a estruturação do arcabouço hidrogeológico da região de Salinópolis – Nordeste do Pará – Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 97 p.

Cooke R. U. & Doornkamp J. C. 1974. *Geomorphology in environmental management: an introduction*. Oxford: Clarendon Press, xiv, 413 p.

Costa F. R. 2004. *Influência da Neotectônica sobre os arranjos geométricos dos Aquíferos na Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Belém, 171 p.

Costa J. B. S., Bemerguy R. L., Hasui Y., Borges M. S., Ferreira Júnior C. R. P., Bezerra P. E. L., Costa M. L., Fernandes, J. M. G. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *GEONOMOS*, 4 (2) : 23-44.

Costa J. B. S. & Hasui Y. 1991. *O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia*. Boletim 3º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Rio Claro, p. 142-145.

Costa, J. B. S. & Hasui Y. 1997. Evolução geológica da Amazônia. In: Costa, M. L., Angélica R. S. 1997. *Contribuições a geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG. Núcleo Norte. p. 14 – 90.

Costa T. C. D. 2001. *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido e aplicação na Região Metropolitana de Belém*. TS Doutorado, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Centro de Geociências da UFPA. Belém: 276 p.

Dantas M. E. & Teixeira S. G. 2013. Origem das Paisagens. In: João, X. F. J.; Teixeira S. G., Fonseca D. D. F. 2013. *Geodiversidade do Estado do Pará*. Programa Geologia do Brasil – Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM.

Delgado I. M., Souza J. D., Silva L. C., Silveira Filho N. C., Santos R. A., Pereira A. J., Guimarães J. T., Angelim L. A. A., Vasconcelos, A. M., Gomes I. P.; Lacerda Filho J. V., Valente C. R., Perrotta M. M., Heineck C. A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi L. A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves, J. H. (Eds). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003, p. 227-334.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação (FAPESPA) 2016. *Estatísticas Municipais Paraenses: Abaetetuba*. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação – Belém – Semestral, n. 1, p. 1-60, jul/dez.

Ferreira Júnior C. P. R. 1996. *Neotectônica na área da Bacia de São Luís*. DS Mestrado, Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará Centro Geociências. Belém, 173 p.

Florenzano T. G. (Org.) 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos.

Fossen H. 2012. Deformação. In: Fossen H. 2012. *Geologia Estrutural*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 51-91.

Goés A. M. & Truckenbrodt W. 1980. *Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras da Região Bragantina, nordeste do Pará*. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário do Camboriú. Santa Catarina: p. 776-771.

Hasui Y. 1990. *Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil*. In: Workshop sobre neotectônica e sedimentação Cenozóica continental no sudeste brasileiro. Anais SBG – Núcleo Minas Gerais, Boletim **11** : 1-31.

Hasui Y. 2012. Cráton Amazônico: províncias Rio Branco e Tapajós. In: Hasui Y., Carneiro C. D. R., Almeida F. F. M., Bartorelli A. (Orgs). *Geologia do Brasil*. Editora Beca: p. 138-175.

Hasui Y. & COSTA, J. B. S. (1991). *Curso de zonas e cinturões de cisalhamento*. Belém: Ed. da UFPA, p. 144.

Howard, A. D. 1967. *Drainage analysis in geologic interpretation: summation*. Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol. Chicago.

Ibge 2017. *Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro.

Ibge 2004a. *Mapa de Biomas do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais) / Ministério do Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE.

Ibge 2004b. *Mapa de Vegetação do Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE.

Ibge 2008. *Mapa de Solos do Pará*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE.

Ibge 2009. *Manual Técnico de Geomorfologia*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2 ed – Rio de Janeiro: IBGE.

King L. C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revistas Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro. (1892) : 147-265.

Klein E. L. 2014. Metalogênese do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi. In: Silva M. G., Rocha Neto M. B., Jost, H., Kuyumjian, R. M. (Org). *Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras*. Belo Horizonte: CPRM, p. 195 – 214.

Klein E. L. & Moura C. A. V. 2003. Síntese geológica e geocronológica do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi na região do Rio Gurupi (NE – Pará / NW – Maranhão). *Revista do Instituto de Geociências – USP*. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, **3** : p. 97-112.

Klein E. L., Palheta E. M. S., Pinheiro B. L. S., Moura C. A. V., Abreu F. A. M. 2005. Sistematização da litoestigrafia do Cráton São Luís e Cinturão Gurupi. *Revista Brasileira de Geociências*, **35** (3) : 415 - 418.

Lima M. I. C. 2006. *Análise de Drenagem e seu significado Geológico-Geomorfológico*. (Apostila Digital) 3ª Edição. Belém – PA. Disponível em <<http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/1.pdf>> Acesso em 22/01/2018.

Lobato G. J. M., Martorano L. G., Lucas F. C. A., Tavares-Martins A. C. C., Jardim M. A. G. 2016. Condições térmico-hídricas e percepções de conforto ambiental em quintais urbanos de Abaetetuba, Pará, Brasil. *Revista Ra'e Ga*, **38** : 245 – 268. Curitiba.

Matta M. A. S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém, 292 p.

Moreira M. A. 2007. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação*. Universidade Federal de Viçosa, 3ª ed. Atualizada e Ampliada, 320p.

O'Leary D. W., Friedman J. D., Pohn H. A. 1976. *Lineament, linear limination: some proposed new standards for old terms*. Geological Society of American Bulletin, New York : **87** (10) : 1463-1469.

Palheta E. S. M. 2008. *Estudo da Compartimentação e Arcabouço Neotectônico da Ilha de Mosqueiro – PA empregado na Prospecção Hídrica Subterrânea*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Belém-PA, 241 p.

Pinheiro B. L. S., Moura C. A. V., Gorayeb P. S. S. 2011. Proveniência das rochas metassedimentares do Cinturão Araguaia com base em datações Pb-Pb em zircão e idades-modelo Sm-Nd. *Revista Brasileira de Geociências*, **41** (2) : 304-318.

Prefeitura de Abaetetuba 2017. *Geografia*. Disponível em <<http://www.abaetetuba.pa.gov.br/portal/abaetetuba/cidade/geografia>> Acesso em: 20/01/2018.

Rebouças A. C. 1994. *Fundamentos de Gestão de Aquíferos*. 35p (Curso Pré Congresso Latino Americano de Hidrologia Subterrânea, 2., Santiago ALSUD / Chile).

Ricomini C., Giannini, P. C. F., Mancini F. 2000. Rios e Processos Aluviais. *In*: Teixeira W., Fairchild T. R., Toledo, M. C., Taioli F. (eds). *Decifrando a Terra*. São Paulo, Oficina de Textos. p. 191 – 214.

Rossetti D. F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Revista do Instituto de Geociências – USP*, Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, **6** (2) : 7-18.

Rossetti D, F. 2001. Late Cenozoic sedimentar evolution in northeastern Pará, Brazil, within the contexto of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, **14** : 77-98.

Rossetti D. F. 2000. Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luis Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, **133** : 295–324.

Rossetti D. F., Truckenbrodt W., Goés A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, série Ciências da Terra, **1** (1) : 25-74.

Saadi A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. *GENOMOS*, **1** (1) : 1-15.

Santos J. O. S. 2003. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi L. A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J. H. 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 692 p.

Soares P. C. & FIORI, A. P. 1976. *Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia*. Notícia Geomorfológica, Campinas, **16** (32) : 71-104.

Souza E. B., Kayano M. T., Tota J., Pezzi L., Fisch G., Nobre C. 2000. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazônica*, **30** (2) : 305-318.

Sylvester A. G. 1988. *Strike-slip faults*. *Geological Society of American Bulletin*, **100** : 1666-1703.

Tassinari C. C. G. & Macambira M. J. B. (2012). A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Hasui Y., Carneiro C. D. R., Almeida F. F. M., Bartorelli A. 2012. *Geologia do Brasil*. 1ª Edição. São Paulo: Editora Beca, 900p.

Tatumi S. H., Silva L. P., Pires E. L., Rossetti D. F. Goés, A. M., Minita C. S. 2008. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38** (3) : 514-524.

Vasquez M. L. & Rosa-Costa L. T. (Org) 2008b. *Mapa geológico e de recursos minerais do Pará, escala 1:1.000.000.000*. Programa Geologia do Brasil (PBG), integração, atualização e difusão dos dados da geologia do Brasil, mapas geológicos estaduais. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém.

Vasquez M. L., Rosa-Costa L. T., Silva C. M. G., Klein E. L. 2008a. Compartimentação Tectônica. In: Vasquez M. L., Rosa-Costa L. T. (Org). *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG*: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Belém, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém.

Veneziani P. & Anjos C. E. 1982. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos: INPE, 54 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELA DE POÇOS

(continua)

ID	Nº do Poço	Local	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
0	1500001135	Abaetetuba	1°43'26"	48°42'18"
1	1500001236	Abaetetuba	1°44'03"	48°54'40"
2	1500001237	Abaetetuba	1°44'05"	48°54'41"
3	1500001238	Barcarena	1°31'01"	48°37'36"
4	1500001239	Barcarena	1°31'02"	48°37'36"
5	1500002213	Moju	1°53'06"	48°45'44"
6	1500002214	Moju	1°53'04"	48°45'39"
7	1500002215	Moju	1°53'03"	48°46'04"
8	1500002216	Moju	1°53'42"	48°46'00"
9	1500002217	Moju	1°54'06"	48°46'09"
10	1500002218	Moju	1°54'09"	48°46'08"
11	1500002219	Moju	1°53'11"	48°46'25"
12	1500002220	Moju	1°53'25"	48°46'06"
13	1500002221	Moju	1°53'14"	48°46'04"
14	1500002222	Moju	1°53'05"	48°46'02"
15	1500002223	Moju	1°53'10"	48°46'05"
16	1500002224	Moju	1°53'42"	48°46'17"
17	1500002225	Moju	1°53'31"	48°46'24"
18	1500002226	Moju	1°53'25"	48°45'53"
19	1500002227	Moju	1°57'36"	48°45'49"
20	1500002228	Moju	1°53'49"	48°46'06"
21	1500002229	Moju	1°53'33"	48°46'29"
22	1500002230	Moju	1°53'39"	48°46'24"
23	1500002231	Abaetetuba	1°48'49"	48°48'24"
24	1500002232	Abaetetuba	1°48'47"	48°48'24"
25	1500002233	Abaetetuba	1°52'43"	48°52'47"
26	1500002234	Abaetetuba	1°54'35"	48°53'42"
27	1500002235	Abaetetuba	1°55'12"	48°54'11"
28	1500002236	Igarapé-Miri	1°57'50"	48°53'51"
29	1500002240	Abaetetuba	1°50'52'	48°50'24"
30	1500002241	Abaetetuba	1°48'49"	48°46'08"
31	1500002290	Barcarena	1°40'24"	48°37'51"
32	1500002291	Moju	1°53'00"	48°45'52"
33	1500002292	Moju	1°53'05"	48°45'53"
34	1500002366	Moju	1°56'20"	48°46'55"
35	1500002367	Barcarena	1°33'10"	48°44'23"
36	1500002368	Barcarena	1°33'16"	48°44'27"
37	1500002369	Barcarena	1°33'06"	48°44'21"
38	1500002370	Barcarena	1°33'28"	48°44'32"
39	1500002371	Barcarena	1°33'22"	48°44'31"
40	1500002372	Barcarena	1°30'52"	48°42'25"
41	1500002373	Barcarena	1°30'51"	48°42'27"
42	1500002374	Barcarena	1°30'53"	48°42'29"
43	1500002375	Barcarena	1°32'04"	48°41'31"
44	1500002377	Abaetetuba	1°43'21"	48°52'43"
45	1500002378	Abaetetuba	1°42'34"	48°52'30"
46	1500002379	Abaetetuba	1°42'35"	48°52'35"
47	1500002380	Abaetetuba	1°42'30"	48°52'33"
48	1500002381	Abaetetuba	1°42'31"	48°52'28"
49	1500002382	Abaetetuba	1°42'35"	48°52'25"
50	1500002383	Abaetetuba	1°42'29"	48°52'22"
51	1500002384	Abaetetuba	1°42'26"	48°52'25"
52	1500002385	Abaetetuba	1°43'16"	48°52'53"

(continuação)

ID	Nº do Poço	Local	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
53	1500003077	Barcarena	1°33'25"	48°44'31"
54	1500003081	Barcarena	1°35'38"	48°45'39"
55	1500003082	Barcarena	1°34'30"	48°41'37"
56	1500003597	Igarapé-Miri	1°51'20"	49°00'57"
57	1500003598	Igarapé-Miri	1°51'16"	49°00'51"
58	1500003629	Igarapé-Miri	1°51'10"	49°00'59"
59	1500004030	Barcarena	1°35'38"	48°35'39"
60	1500004354	Moju	1°53'13"	48°45'17"
61	1500004355	Moju	1°53'15"	48°45'13"
62	1500004356	Moju	1°54'01"	48°46'14"
63	1500004357	Moju	1°54'08"	48°47'44"
64	1500004359	Moju	1°57'30"	48°48'07"
65	1500004377	Barcarena	1°34'35"	48°46'22"
66	1500004378	Barcarena	1°34'34"	48°46'28"
67	1500004509	Barcarena	1°33'39"	48°44'54"
68	1500004510	Barcarena	1°33'40"	48°44'38"
69	1500004511	Barcarena	1°33'29"	48°44'48"
70	1500004512	Barcarena	1°33'19"	48°44'42"
71	1500004513	Barcarena	1°33'55"	48°44'47"
72	1500004514	Barcarena	1°32'34"	48°43'38"
73	1500004515	Barcarena	1°32'39"	48°43'38"
74	1500004516	Barcarena	1°32'41"	48°43'40"
75	1500004517	Barcarena	1°32'38"	48°43'36"
76	1500004518	Barcarena	1°32'21"	48°43'45"
77	1500004519	Barcarena	1°32'17"	48°43'50"
78	1500004520	Barcarena	1°32'14"	48°43'56"
79	1500004521	Barcarena	1°32'24"	48°43'40"
80	1500004522	Barcarena	1°32'50"	48°43'43"
81	1500004523	Barcarena	1°32'48"	48°43'42"
82	1500004524	Barcarena	1°32'46"	48°43'41"
83	1500004622	Barcarena	1°34'38"	48°46'20"
84	1500004627	Barcarena	1°32'37"	48°43'34"
85	1500004628	Barcarena	1°32'30"	48°43'31"
86	1500004629	Barcarena	1°32'50"	48°43'44"
87	1500004630	Barcarena	1°33'29"	48°44'47"
88	1500004631	Barcarena	1°33'12"	48°44'38"
89	1500004632	Barcarena	1°33'18"	48°44'41"
90	1500004633	Barcarena	1°33'54"	48°44'47"
91	1500004691	Barcarena	1°32'29"	48°44'35"
92	1500004692	Barcarena	1°32'30"	48°44'36"
93	1500004699	Barcarena	1°34'19"	48°44'35"
94	1500004713	Barcarena	1°35'44"	48°46'42"
95	1500004714	Barcarena	1°35'37"	48°46'42"
96	1500004715	Barcarena	1°35'09"	48°47'07"
97	1500004749	Abaetetuba	1°50'14"	48°45'14"
98	1500004756	Moju	1°57'28"	48°48'06"
99	1500005648	Barcarena	1°34'06"	48°44'57"
100	1500005673	Barcarena	1°32'59"	48°44'19"
101	1500005674	Barcarena	1°32'59"	48°44'20"
102	1500005709	Barcarena	1°35'28"	48°43'51"
103	1500005770	Barcarena	1°35'20"	48°43'51"
104	1500005771	Barcarena	1°35'30"	48°43'52"
105	1500005801	Moju	1°52'40"	48°43'06"
106	1500005843	Barcarena	1°35'05"	48°43'50"

(continuação)

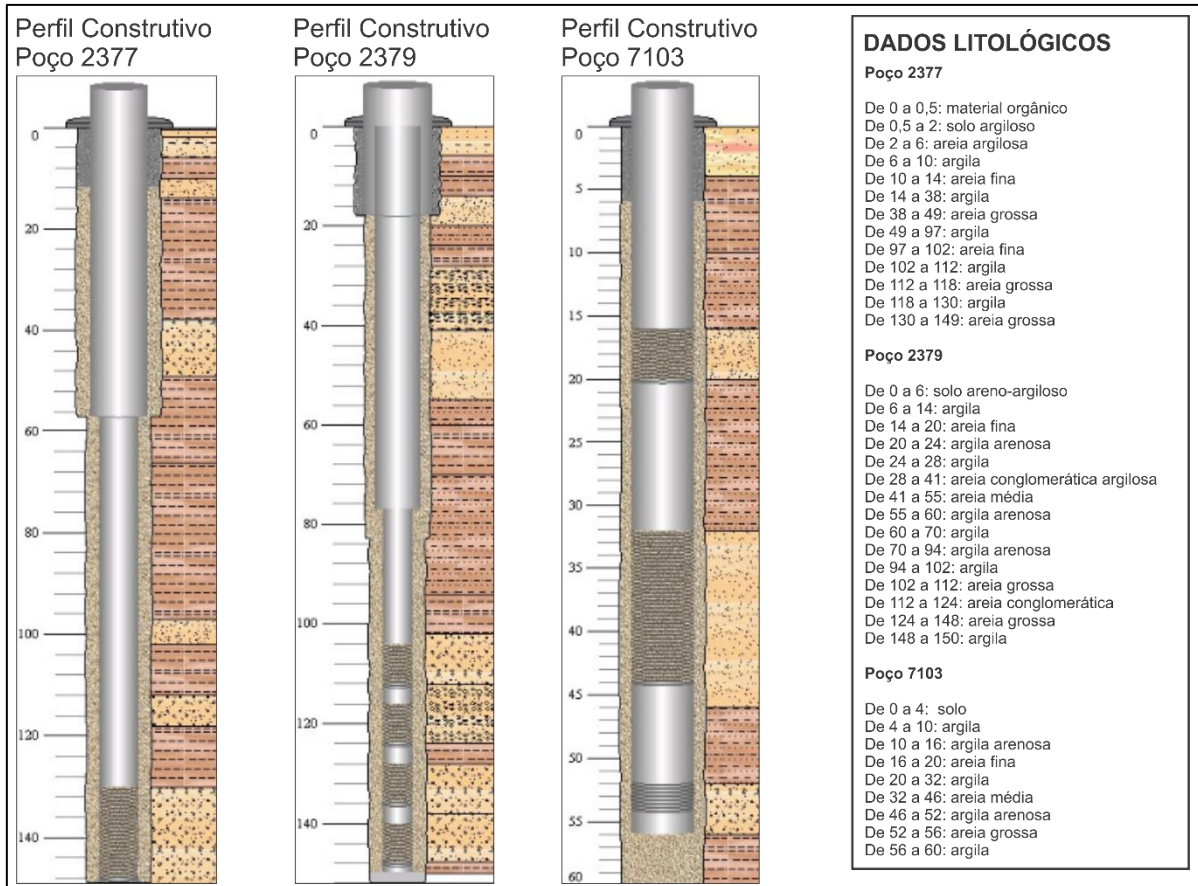
ID	Nº do Poço	Local	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
107	150005846	Barcarena	1°34'12"	48°45'04"
108	150005847	Barcarena	1°34'12"	48°45'07"
109	150005848	Barcarena	1°34'16"	48°45'17"
110	150005849	Barcarena	1°34'18"	48°45'17"
111	150005853	Barcarena	1°34'16"	48°45'16"
112	150005961	Barcarena	1°34'28"	48°46'18"
113	150005962	Barcarena	1°34'26"	48°46'26"
114	150005963	Barcarena	1°34'29"	48°46'20"
115	150005964	Barcarena	1°34'30"	48°46'20"
116	150005966	Abaetetuba	1°38'00"	48°44'35"
117	150006081	Abaetetuba	1°44'02"	48°53'45"
118	150006208	Moju	1°53'26"	48°46'39"
119	150006216	Barcarena	1°34'14"	48°44'56"
120	150006249	Barcarena	1°34'09"	48°44'49"
121	150006250	Barcarena	1°34'13"	48°44'57"
122	150006251	Barcarena	1°34'07"	48°44'52"
123	150006278	Moju	1°52'43"	48°45'01"
124	150006299	Barcarena	1°35'26"	48°43'53"
125	150006425	Abaetetuba	1°44'52"	48°50'37"
126	150006509	Barcarena	1°31'59"	48°40'40"
127	150006525	Moju	1°53'49"	48°47'03"
128	150006526	Moju	1°53'48"	48°47'03"
129	150006527	Barcarena	1°34'21"	48°46'26"
130	150006595	Moju	1°54'16"	48°46'14"
131	150006654	Barcarena	1°34'07"	48°44'55"
132	150006776	Moju	1°53'48"	48°45'21"
133	150006890	Barcarena	1°34'29"	48°44'27"
134	150007021	Abaetetuba	1°50'45"	48°51'44"
135	150007022	Abaetetuba	1°51'01"	48°51'15"
136	150007031	Abaetetuba	1°54'06"	48°52'43"
137	150007032	Abaetetuba	1°53'05"	48°52'52"
138	150007033	Abaetetuba	1°53'07"	48°52'57"
139	150007034	Abaetetuba	1°53'03"	48°52'57"
140	150007035	Abaetetuba	1°53'00"	48°53'08"
141	150007103	Abaetetuba	1°42'45"	48°52'09"
142	150007174	Moju	1°53'29"	48°45'27"
143	150007209	Barcarena	1°31'20"	48°37'38"
144	150007335	Barcarena	1°34'15"	48°45'16"
145	150007342	Moju	1°53'29"	48°45'26"
146	150007356	Barcarena	1°33'02"	48°44'24"
147	150007357	Barcarena	1°33'03"	48°44'24"
148	150007385	Abaetetuba	1°50'50"	48°51'25"
149	150007405	Abaetetuba	1°41'10"	48°47'27"
150	150007407	Barcarena	1°33'10"	48°44'28"
151	150007419	Barcarena	1°34'42"	48°45'02"
152	150007829	Barcarena	1°35'01"	48°43'50"
153	150007840	Barcarena	1°34'20"	48°44'05"
154	150007950	Barcarena	1°34'36"	48°46'23"
155	150007986	Moju	1°53'59"	48°47'40"
156	150008007	Barcarena	1°32'37"	48°43'37"
157	150008008	Barcarena	1°32'33"	48°43'34"
158	150008009	Barcarena	1°32'29"	48°43'32"
159	150008010	Barcarena	1°32'31"	48°43'38"
160	150008011	Barcarena	1°32'28"	48°43'36"

(conclusão)

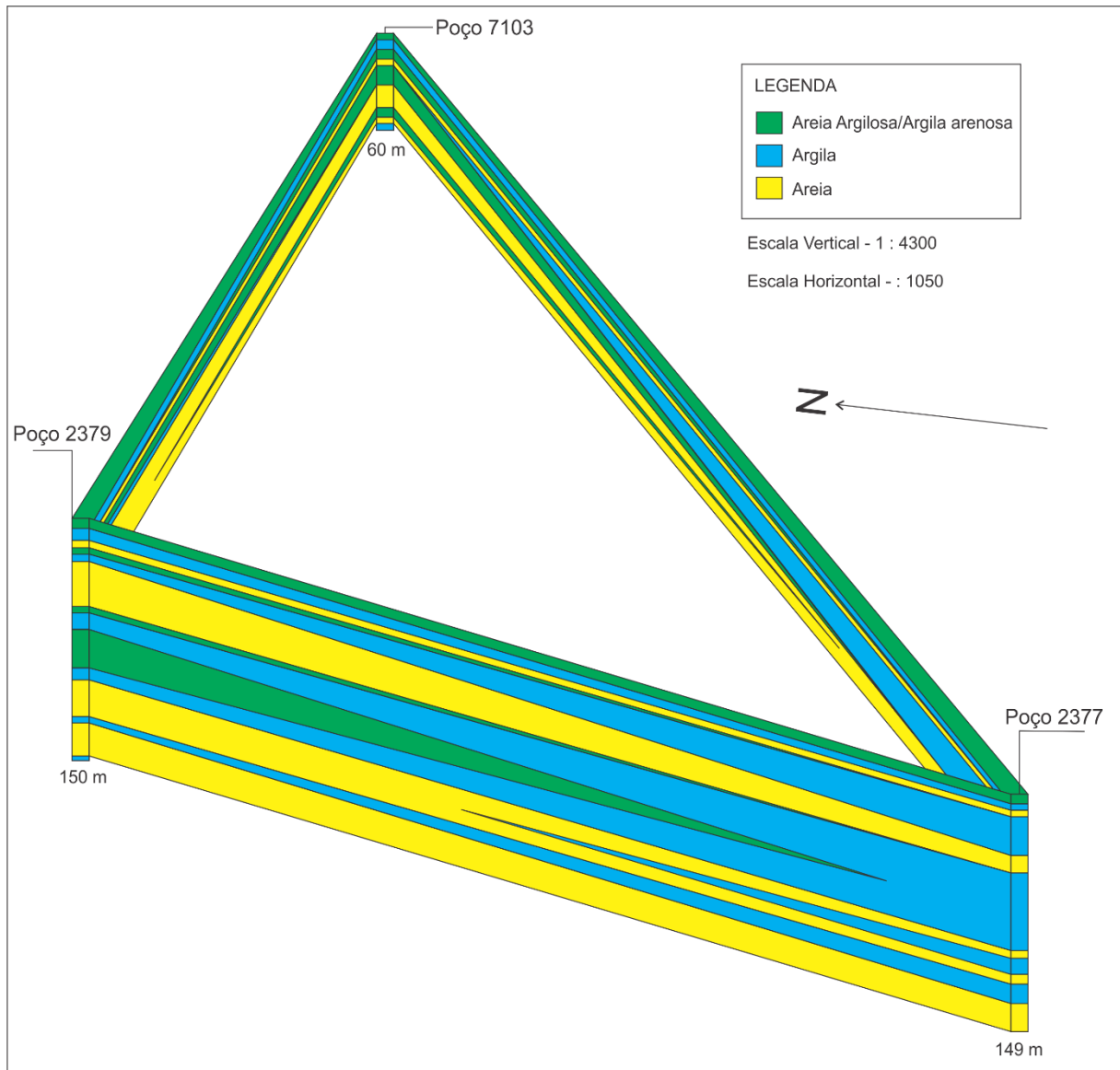
ID	Nº do Poço	Local	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
161	1500008012	Barcarena	1°32'50"	48°43'45"
162	1500008014	Barcarena	1°31'16"	48°39'08"
163	1500008015	Barcarena	1°31'15"	48°39'08"
164	1500008041	Barcarena	1°34'14"	48°45'11"
165	1500008128	Barcarena	1°35'29"	48°44'06"
166	1500008283	Barcarena	1°35'41"	48°32'28"
167	1500008284	Barcarena	1°35'41"	48°32'27"
168	1500008285	Barcarena	1°35'41"	48°32'25"
169	1500008286	Barcarena	1°35'42"	48°32'28"
170	1500008303	Moju	1°54'05"	48°47'56"
171	1500008355	Moju	1°54'14"	48°47'33"
172	1500008451	Barcarena	1°31'57"	48°41'03"
173	1500008454	Barcarena	1°31'32"	48°40'33"
174	1500008574	Barcarena	1°35'40"	48°32'26"
175	1500008575	Barcarena	1°32'03"	48°42'32"
176	1500008576	Barcarena	1°30'52"	48°43'19"
177	1500008577	Barcarena	1°30'52"	48°43'20"
178	1500008578	Barcarena	1°30'54"	48°42'28"
179	1500008579	Barcarena	1°33'32"	48°39'09"
180	1500008580	Barcarena	1°30'51"	48°42'26"
181	1500008581	Barcarena	1°30'53"	48°42'26"
182	1500008582	Barcarena	1°30'54"	48°42'31"
183	1500008583	Barcarena	1°31'15"	48°39'07"
184	1500008584	Barcarena	1°33'59"	48°46'03"
185	1500008585	Barcarena	1°34'00"	48°46'03"
186	1500008586	Barcarena	1°34'00"	48°46'04"
187	1500008587	Barcarena	1°35'40"	48°32'24"
188	1500008589	Barcarena	1°30'52"	48°42'30"
189	1500008590	Barcarena	1°30'49"	48°36'27"
190	1500008624	Abaetetuba	1°43'24"	48°52'54"
191	1500008641	Igarapé-Miri	1°38'44"	48°57'57"
192	1500008726	Abaetetuba	1°44'00"	48°53'09"
193	1500008727	Abaetetuba	1°51'26"	48°55'37"
194	1500008728	Abaetetuba	1°41'53"	48°37'15"
195	1500008742	Barcarena	1°34'45"	48°43'45"
196	1500008743	Barcarena	1°40'02"	48°37'50"
197	1500008744	Barcarena	1°34'15"	48°45'18"
198	1500008745	Barcarena	1°32'54"	48°44'14"
199	1500008746	Barcarena	1°32'50"	48°44'11"
200	1500008790	Moju	1°54'48"	48°46'53"

APÊNDICE B – PERFIS CONSTRUTIVOS E SEÇÕES

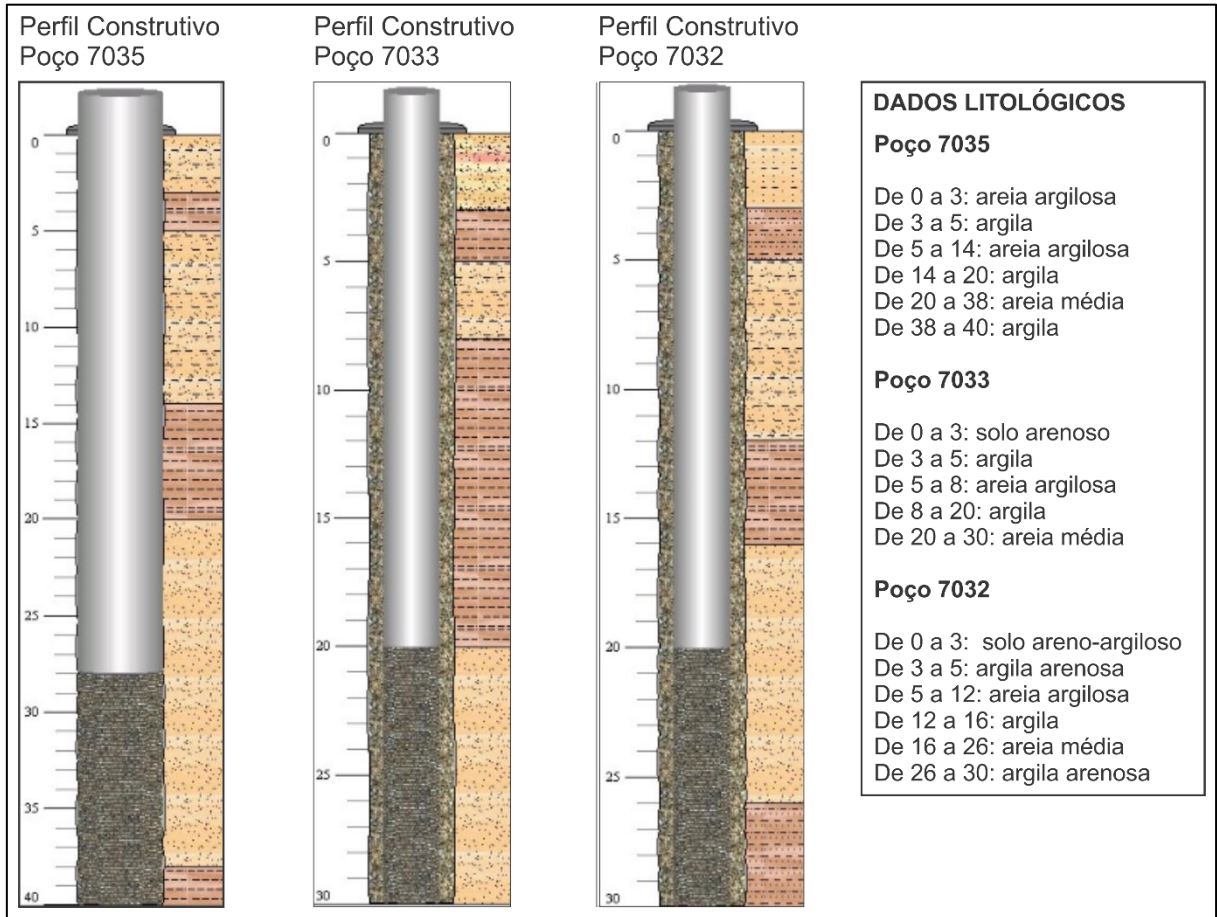
Perfis utilizados na construção no mapa de gradiente do Bloco A



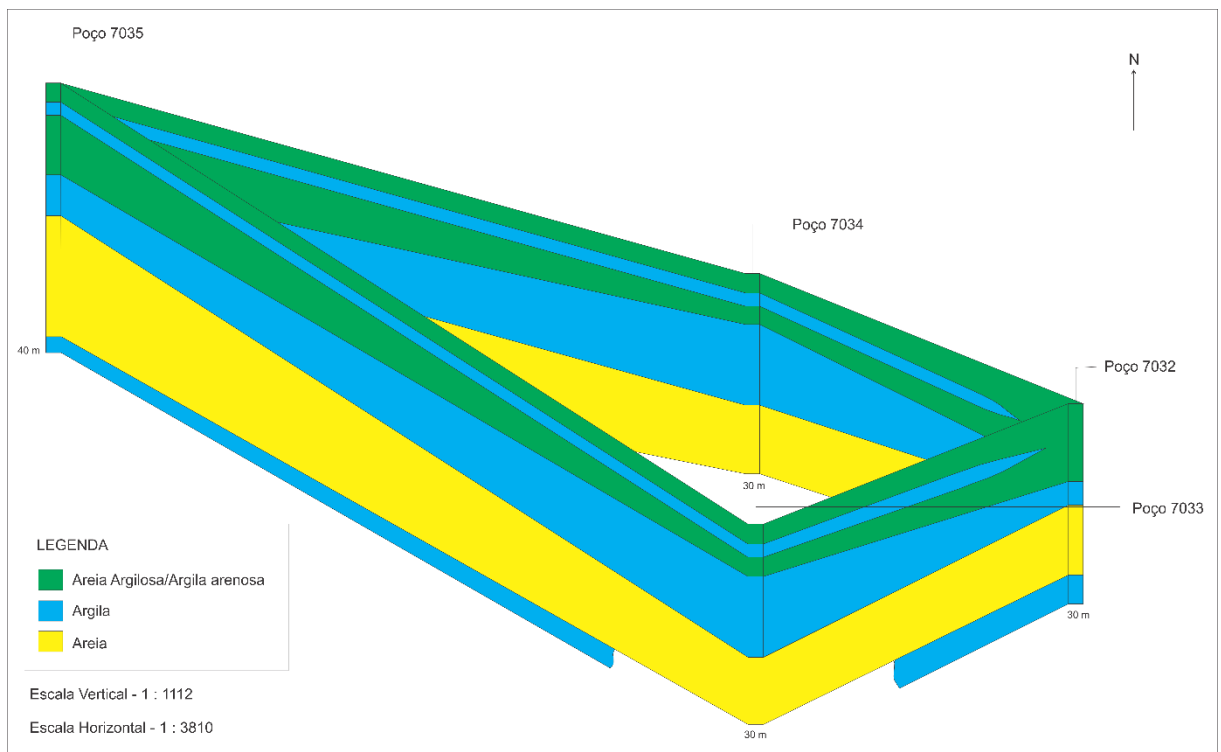
SEÇÃO BLOCO A



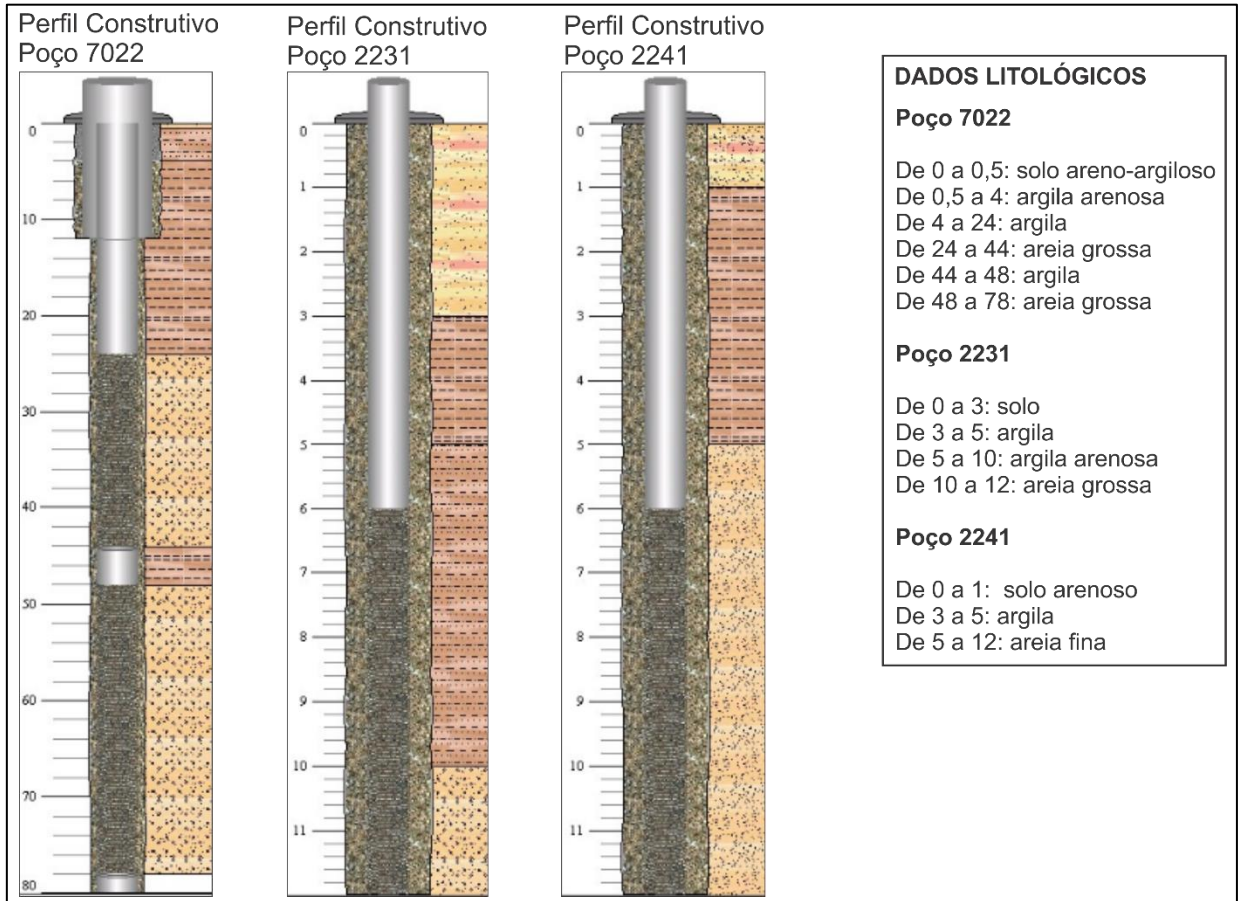
PERFIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO NO MAPA DE GRADIENTE DO BLOCO B

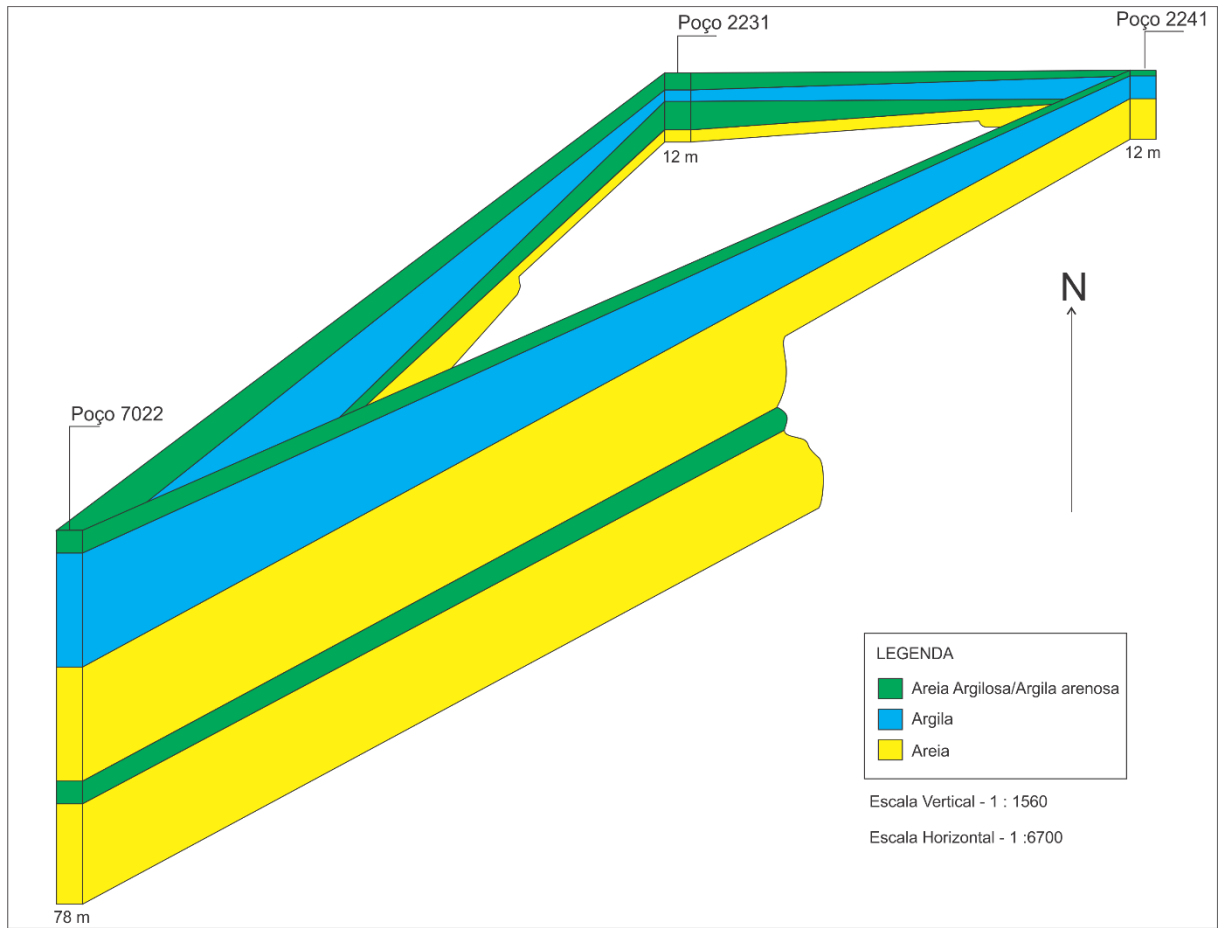


Seção Bloco B



PERFIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO NO MAPA DE GRADIENTE DO BLOCO C



SEÇÃO BLOCO C

CORRELAÇÃO ENTRE OS PERFIS DOS BLOCOS B E C.

