



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

**RENATA MATOS AMARAL CADORINI**

**ATIVIDADE NEOTECTÔNICA EM TORNO DO LINEAMENTO  
TRANSBRASILIANO COSTA OESTE DO ESTADO DO CEARÁ – NORDESTE DO  
BRASIL: EVIDÊNCIAS ATRAVÉS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS**

**FORTALEZA**

**2017**

RENATA MATOS AMARAL CADORINI

ATIVIDADE NEOTECTÔNICA EM TORNO DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO  
COSTA OESTE DO ESTADO DO CEARÁ – NORDESTE DO BRASIL: EVIDÊNCIAS  
ATRAVÉS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C129a Cadorini, Renata Matos Amaral.

Atividade neotectônica em torno do lineamento transbrasiliano costa oeste do estado do Ceará – nordeste do Brasil : evidências através de índices morfométricos / Renata Matos Amaral Cadorini. – 2017.  
51 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho.

1. Lineamento Transbrasiliano. 2. Neotectônica. 3. Índices geomorfométricos. 4. Província Borborema. 5. Nordeste Brasil. I. Título.

CDD 551

---

RENATA MATOS AMARAL CADORINI

ATIVIDADE NEOTECTÔNICA EM TORNO DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO  
COSTA OESTE DO ESTADO DO CEARÁ – NORDESTE DO BRASIL: EVIDÊNCIAS  
ATRAVÉS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

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

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Sebastián Gonzáles Chiozza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Christiano Magini  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Para meu filho João Lucas,  
por tudo que passamos juntos nessa  
caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram na colaboração desse estudo.

A Deus pela força de todos os dias e realização de mais uma etapa.

Ao meu filho João Lucas, pela a alegria de sua companhia nesses 15 meses de vida e que fez meu mundo assumir prioridades antes impensadas. Obrigada! Tudo por ti meu pequeno.

Aos meus pais, Ruth e Eli, por propiciar as condições necessárias para que eu chegasse até esse resultado e pelo amor e carinho dedicados a mim.

A minha querida tia e mãe, Adelcir por estar sempre presente e compartilhar comigo tantos momentos bons e por me estender a mão nos dias mais difíceis sem pestanejar. Sempre!

Ao meu primo e irmão Rodrigo, que mesmo do seu cantinho e do seu jeito recatado sei que torce por mim.

Ao pai científico, amigo e orientador, Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho por sua amizade, ensinamentos, orientação, paciência, dedicação, compreensão e incentivo durante todo o período em que trabalhamos juntos. Muito obrigada!

Ao amigo Viktor e Karen pela amizade, troca de conhecimento e disponibilidade.

Aos professores Dr. Sebastián Gonzáles Chiozza e Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo pela atenção, disponibilidade e contribuição para o enriquecimento da pesquisa.

A todos os professores, funcionários e colegas do Departamento de Geologia da UFC que contribuíram para o meu crescimento com seus ensinamentos científicos e de vida.

À CAPES pelo financiamento da bolsa de mestrado.

“Por trás de cada adversidade encontra-se um  
fragmento para a sua evolução.”

(Vinícius N. Morais)

## RESUMO

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) é uma megaestrutura de idade Neoproterozóica (Ciclo Brasileiro) com dimensão continental e direção NE-SW que corta o território brasileiro por cerca de 2700km. Dentro do contexto da Província Borborema, o LTB desempenhou junto com outras estruturas grande influência na instalação e geohistória das bacias sedimentares da Província Parnaíba. Diante disso, o presente estudo tem a finalidade de investigar feições possíveis de deformações tectônicas a partir da análise morfotectônica, mediante a utilização de parâmetros que determinam quantitativamente as características físicas da rede de drenagem. A área está localizada no litoral oeste do estado do Ceará, abrangendo as adjacências do Lineamento Transbrasiliano (LTB). A metodologia aplicada contou com o apoio das técnicas de geoprocessamento e baseou-se na análise dos índices morfométricos: relação declividade extensão (RDE), fator assimétrico (Af), sinuosidade de vertente de vale (Svv) e integral hipsométrica (Hi). Tais índices empregados em conjunto permitiu inferir o índice de atividade tectônica (Iat) o qual evidencia valores condizentes com a influência dessas deformações na região. Constatou-se então que a partir dos valores obtidos do Iat as sub-bacias Lagoa Grande, Riacho da Prata, Córrego da Poeira e Rio Trairí indicaram uma tectônica alta, as sub-bacias Lagoa da Forquilha, Lagoa da Jijoca, Rio Zumbi, Rio Aracatimirim e Rio Cruxati apresentaram intensidade alta a moderada e com intensidade moderada Rio Acaraú, Rio Aracatiaçu e Rio Mundaú. Logo, esse trabalho retratou a importância das técnicas de geoprocessamento e das análises morfométricas, se mostrando bastante eficientes nos resultados obtidos sob o enfoque da neotectônica.

**Palavras-chave:** Lineamento Transbrasiliano. Neotectônica. Índices geomorfométricos. Província Borborema. Nordeste Brasil.

## ABSTRACT

The Transbrasiliano Lineament (LTB) is a megastructure of Neoproterozoic age (Braziliano Cycle) with continental dimension and NE-SW trend that cuts the Brazilian territory by about 2700km. With in the context of the Borborema Province, the LTB played along with other structures great influence in the installation and geohistory of the sedimentary basins of the Parnaíba Province. Therefore, the present study has the purpose of investigating possible features of tectonic deformations from the morphothectonic analysis, through the use of parameters that quantitatively determine the physical characteristics of the drainage network. The area is located on the west coast of the state of Ceará, encompassing the adjacencies of the Transbrasiliano Lineament (LTB). The applied methodology was supported by geoprocessing techniques and was based on the analysis of morphometric indexes: relation slope extension (RDE), asymmetric factor (Af), sinuosity of slope of valley (Sv<sub>v</sub>) and integral hypsometric (Hi). These indexes used together allowed inferring the index of tectonic activity (Iat) which shows values consistent with the influence of these deformations in the region. It was verified that from the values obtained from the Iat the sub-basins Grande lagoon, Prata stream, Poeira stream and Trairí river indicated a high tectonics, the sub-basins Forquilha lagoon, Jijoca lagoon, Zumbi river, Aracatimirim river and Cruxati river presented high to moderate intensity and with moderate intensity Acaraú river, Aracatiaçú and Mundaú. Therefore, this work presented the importance of geoprocessing techniques and morphometric analyzes, which are very efficient in the results obtained under the neotectonic approach.

**Keywords:** Transbrasiliano Lineament. Neotectonic, Morphometric indexes. Borborema Province.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Localização da área de pesquisa dentro do contexto geológico regional..	15
Figura 2	- Mapa simplificado com a localização do Lineamento.....	17
Figura 3	- Localização da área de pesquisa dentro do contexto geológico regional..	23
Figura 4	- Mapa sismotectônico da parte norte da PB.....	25
Figura 5	- Esquema ilustrativo da obtenção das variáveis para o cálculo do índice RDE.....	27
Figura 6	- Ilustração esquemática do índice fator assimétrico para o caso de influência de tectônica ativa.....	28
Figura 7	- Identificação das bacias hidrográficas e seus respectivos canais principais utilizados na aplicação dos índices morfométricos.....	32
Figura 8	- Identificação dos segmentos de rios anômalos e não-anômalos definidos a partir do índice geomorfo RDE (Relação Declividade-extensão) com porcentagem dos trechos anômalos e média dos valores absolutos de cada sub-bacia.....	33
Figura 9	- Mapa do índice fator assimétrico indicando o grau de intensidade e sentido preferencial de basculamento para cada sub-bacia.....	35
Figura 10	- Representação gráfica das classes de $H_i$ para as sub-bacias com os seus respectivos valores.....	36
Figura 11	- Gráficos de integrais hipsométricas ( $H_i$ ) das 12 sub-bacias.....	37
Figura 12	- Representação das vertentes para cálculo de $S_{VV}$ definidas para as sub-bacias de 1 a 6, com seu respectivo valor médio e diagrama de roseta com as direções principais.....	39
Figura 13	- Representação das vertentes para cálculo de $S_{VV}$ definidos para as sub-bacias de 7 a 12, com seu respectivo valor médio e diagrama de roseta com as direções principais.....	40
Figura 14	- Mapa Índice de Atividade Tectônica, onde a classe de intensidade é representada em cada sub-bacia da área.....	43
Figura 15	- Representação dos Domínios Camocim e Trairí.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Relação entre classes de índices morfométricos e Categorias de Intensidade Tectônica ( <i>Cit</i> ).....	31
Tabela 2	- Variáveis aplicadas para obtenção do índice Fator Assimétricas ( <i>Af</i> ) e em destaque, o nível de intensidade em que elas ocorrem.....	34
Tabela 3	- Síntese dos resultados obtidos para o índice Sinuosidade de vertente de vale ( <i>Svv</i> )	38
Tabela 4	- Classificação do Índice de Atividade Tectônica ( <i>Iat</i> ) definidas para as sub-bacias da área pesquisada.....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Apresentação.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>13</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>14</i>
<b>1.3</b>	<b>Localização e acesso.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Província Borborea.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Lineamento Transbrasiliano (LTB) .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Formação Barreiras.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Sedimentos Quaternários.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO CIENTÍFICO.....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>
	<b>APÊNDICE A – AGRADECIMENTOS DO ARTIGO.....</b>	<b>53</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

A presente dissertação é parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre junto ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal Do Ceará (UFC). Intitulada como “*Atividade Neotectônica em torno do Lineamento Transbrasiliano Costa Oeste do Estado do Ceará – Nordeste do Brasil: Evidências através de índices morfométricos.*”, de uma forma geral, essa temática procurou entender e contribuir com os estudos já realizados na região investigando as deformações neotectônicas.

A área situada no litoral oeste do Estado do Ceará, está geologicamente inserida na Província Borborema, onde ocorrem predominantemente os terrenos sedimentares miocênicos (Formação Barreiras). Evidencia em sua parte central uma das principais estruturas da plataforma Sul-Americana, o Lineamento Transbrasiliano (LTB), localmente denominada Lineamento Sobral-Pedro II.

Desta forma, a região para onde foi direcionada a pesquisa é bastante relevante tendo em vista as evidências que apontam a existência de movimentações neotectônicas relatadas em estudos anteriores.

Este trabalho foi organizado em forma de artigo e será submetido na Revista Pesquisas em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Dessa maneira, os capítulos iniciais se referem a aspectos introdutórios, objetivos gerais e específicos, localização da área de estudo e geologia regional simplificada.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetivou investigar feições sugestivas de deformação tectônica a partir da análise morfotectônica utilizando técnicas morfométricas que determinam as características físicas da rede de drenagem.

Nesse contexto, tal análise se propõe a atingir os objetivos específicos a seguir.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

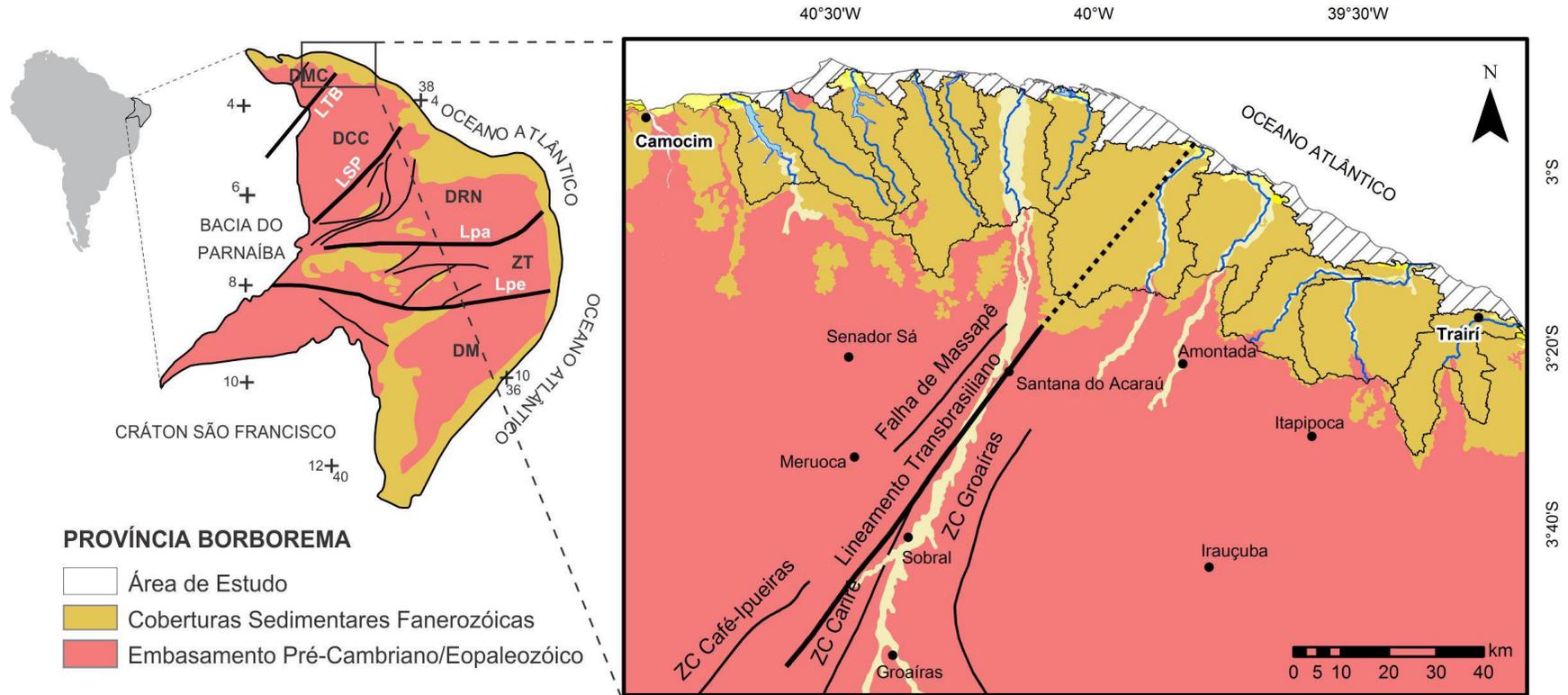
- a) Obter o delineamento da rede de drenagem a partir de imagens SRTM e delimitar as bacias e sub-bacias hidrográficas;
- b) Determinar a ordem hierárquica através do método de Horton (1945);
- c) Aplicar técnicas morfométricas utilizando os índices: relação declividade-extensão (*RDE*), fator assimétrico (*Af*), sinuosidade de vertente de vale (*S<sub>v</sub>v*) e integral hipsométrica (*Hi*);
- d) Integrar os resultados das análises e gerar o índice de atividade tectônica relativa (*Iat*).

### **1.3 Localização e Acesso**

A área está delimitada na região litorânea do noroeste do Ceará (Figura 1), perfazendo aproximadamente 4500 km<sup>2</sup> abrangendo parte dos municípios de Trairí, Itapipoca, Amontada, Itarema, Acaraú, Bela Cruz, Cruz, Jijoca de Jericoacoara, Camocim e uma pequena porção das cidades de Granja, Marco, Morrinhos e Tururu.

Partindo de Fortaleza, o acesso pode ser realizado de forma fácil pela rodovia CE-085 (Estruturante), passando pelas cidades de Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paracuru e Paraipaba até o destino. A distância do percurso é de aproximadamente 360 km, existindo outros trechos alternativos.

Figura 1 - Localização da área de pesquisa dentro do contexto geológico regional



**PROVÍNCIA BORBOREMA**

- Área de Estudo
- Coberturas Sedimentares Fanerozóicas
- Embasamento Pré-Cambriano/Eopaleozóico

**Principais Lineamentos**

**LTB** - Transbrasiliano; **LSP** - Senador Pompeu;  
**Lpa** - Patos; **Lpe** - Pernambuco

**Domínios Tectônicos**

**DMC**- Médio Coreaú; **DCC**- Ceará Central;  
**DRN**- Rio Grande do Norte; **ZT** - Zona Transversal;  
**DM**- Meridional

Fonte: Adaptado de Brito Neves *et al.* (2000) e Santos *et al.* (2000).

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Municípios
- Limite da Sub-bacia
- ▨ Área não considerada
- Zona de Cisalhamento
- ⋯ Projeção LTB
- Lin. Transbrasiliano
- ~ Rios e Riachos
- Depósitos Aluviais
- Depósitos Eólicos
- Form. Barreiras
- Embasamento

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1 Província Borborema

Descrita inicialmente por Almeida *et al.* (1977, 1981) a Província Borborema (PB) ocupa a porção nordeste da Plataforma Sul-Americana, perfazendo em termos de extensão territorial cerca de 450.000 km<sup>2</sup>, compreende partes do norte da Bahia e sudoeste do Piauí até o noroeste do Ceará. Tal província é representada por um marcante registro da atuação de atividades tectono-termiais durante o Neoproterozóico, tornando-se conhecida como palco de intensa atuação do Ciclo Brasileiro/Pan-Africano, com volumoso plutonismo granitóide e desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrentes.

A Província Borborema, como um todo, é conhecida como uma área composta por uma colagem de diferentes terrenos crustais separados por falhas e lineamentos importantes. Constitui a parte mais ocidental, em território brasileiro, de uma unidade tectônica bem maior encontrada entre os Crátons Oeste-Africano, Amazônico e São Francisco-Congo, estendendo-se ainda sob a bacia sedimentar do Parnaíba (MABESSONE, 2002).

Levando em consideração subdivisão da PB, Brito Neves *et al.* (2000) e Santos *et al.* (2000), definiram em cinco domínios estruturais: Médio Coreaú, Ceará Central, Rio Grande do Norte, Domínio Zona Transversal e Domínio Meridional (Figura 1).

### 2.2 Lineamento Transbrasiliano (LTB)

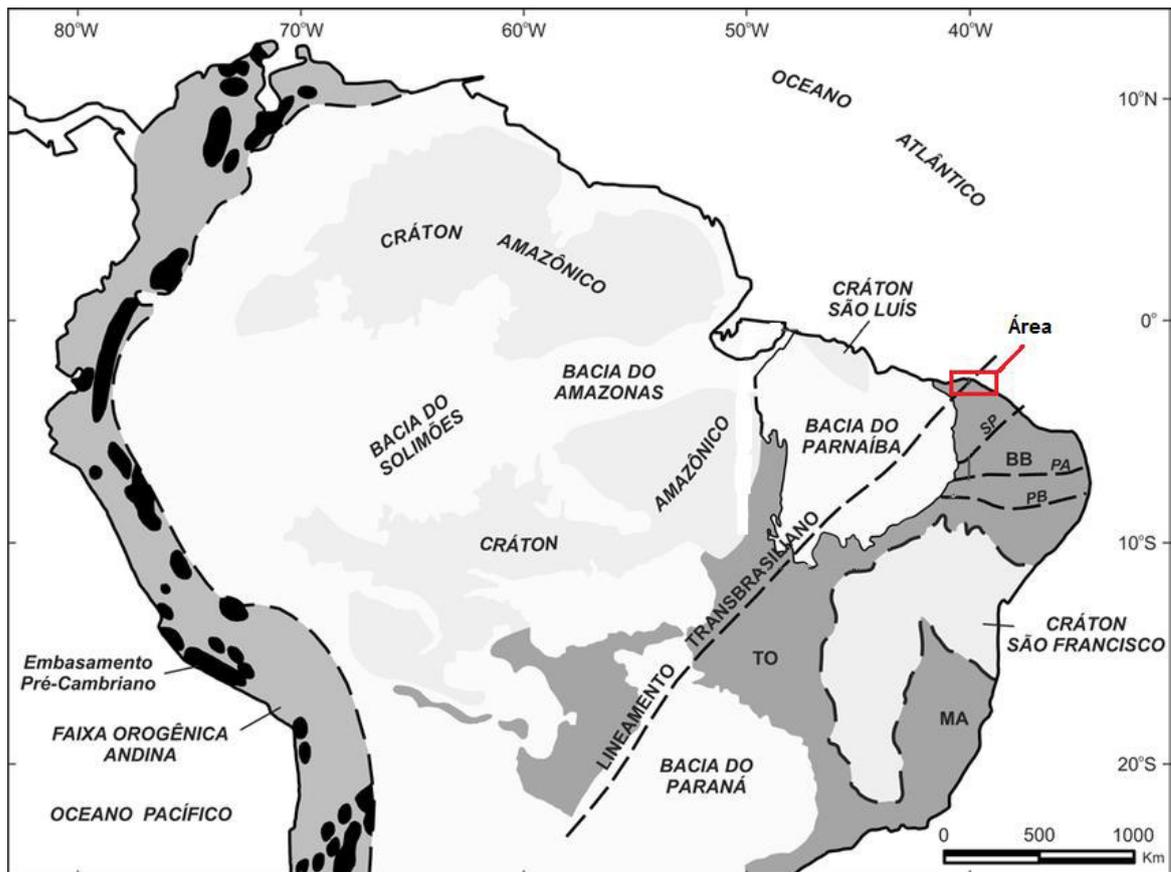
O Lineamento Transbrasiliano (LTB), foi definido por Schobbenhaus (1975), como uma descontinuidade de magnitude continental situada entre o Cráton Amazônico e a porção leste da Plataforma Sul-Americana (FENG *et al.* 2004), representando mega-sutura que atuou na formação do supercontinente Gondwana, entre o final do Proterozóico e início do Paleozóico (ALMEIDA; BRITO NEVES; CARNEIRO, 2000; CORDANI *et al.* 2000; CORDANI; SATO, 1999).

Em território brasileiro, o LTB estende-se por uma distância de cerca de 2.700 km, desde o noroeste do Ceará, da Bacia do Parnaíba e do Estado de Goiás até o noroeste da Bacia Paraná, na região sudoeste do Mato Grosso do Sul, seguindo possivelmente até o limite entre os Crátons Rio de La Plata e Pampia (Figura 2) (RAMOS *et al.* 2010; RAPELA *et al.* 2007).

No Ceará o Lineamento Transbrasiliano aflora entre a Bacia do Parnaíba e a faixa costeira, sendo ali representado pela Falha Sobral-Pedro II, em associação a outras falhas

(Café-Ipueiras, Massapê, Humberto Monte, Forquilha) (SILVA FILHO, 2004). A zona de cisalhamento Sobral-Pedro II é a principal descontinuidade do conjunto limitando os Domínios Médio Coreá e Ceará Central.

Figura 2 – Mapa simplificado com a localização do Lineamento Transbrasiliiano (LTB) e área de estudo



Fonte: Cacama *et al.* (2015). Províncias orogênicas brasileiras: BB – Borborema, TO – Tocantins, MA – Mantiqueira. Zonas de Cisalhamento: PA – Patos, PB – Pernambuco, SP – Senador Pompeu.

A distribuição de terremotos recentes mostra uma concentração de epicentros de terremotos de intensidade fraca a moderada ao longo de alguns trechos do LTB, notadamente em sua porção central, sudoeste e na sua extremidade NE (região de Sobral, CE) (mas não sob a Província Parnaíba, onde quase inexistente atividade sísmica recente). (CHAMANI, 2011).

A sismicidade no Nordeste brasileiro ocorre principalmente em exames que duram de meses a vários anos, com terremotos a profundidades menores que 12km e magnitudes que não ultrapassam  $m_b=5.2$  no registro instrumental de redes sismográficas temporárias ao redor da Bacia Potiguar, iniciado em 1986 (BEZERRA; VITA-FINZI, 2000; FERREIRA *et al.*, 1998). Em geral, os mecanismos focais indicam um regime transcorrente, com compressão paralela à linha de costa E-W a NW-SE (BEZERRA; VITA-FINZI, 2000).

### 2.3 Formação Barreiras

No que concerne a Formação Barreiras, é uma unidade que se estende ao longo do litoral brasileiro, desde o Rio de Janeiro até o estado do Amapá, recobrando depósitos sedimentares mesozóicos de diversas bacias costeiras, com idade atribuída ao intervalo de tempo que varia do Mioceno até o Plioceno-Pleistoceno (BEZERRA, MELLO, SUGUIO, 2006).

Ao longo dos estudos sobre esta unidade estratigráfica, muitos autores propuseram diferentes classificações para a sedimentação Barreiras, mas sempre persistiu a dúvida se ela trata-se de uma formação de idade neogênica, ou de um “grupo” Barreiras mais amplo, conforme sugerem Mabessone *et al.* (1972).

Cavalcante *et al.* (2003), adotam a nomenclatura de Grupo Barreiras, no Estado do Ceará para os estratos em questão. Sendo assim o grupo é dividido em Formação Camocim, Faceira e Barreiras “Indiviso”. No entanto, essa nomenclatura é bastante questionada e considerada ultrapassada, já que existe um maior consenso na separação em diversas formações.

O grupo Barreiras é descrito por Arai (2006), como composto por uma sequência de sedimentos detríticos, siliciclásticos, de origem fluvial e marinha, pouco ou não consolidados, mal selecionados, de cores variadas ocorrendo de modo consistente ao longo do litoral brasileiro e repousando sobre o embasamento.

A sedimentação Barreiras obedeceu a um conjunto de fatores ambientais que envolveram, principalmente, mudanças climáticas, oscilações do nível do mar e movimentos tectônicos, os quais ocorreram em uma sequência de eventos determinantes à elaboração da configuração atual do litoral brasileiro (COSTA JÚNIOR, 2008).

### 2.4 Sedimentos Quaternários

Os sedimentos quaternários na área de estudo são caracterizados de acordo com Cavalcante (2003), por depósitos aluviais (localmente coluviais) consistindo principalmente de argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas.

### 3 ARTIGO CIENTÍFICO

#### **ATIVIDADE NEOTECTÔNICA EM TORNO DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO COSTA OESTE DO ESTADO DO CEARÁ – NORDESTE DO BRASIL: EVIDÊNCIAS ATRAVÉS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS.**

Amaral, R.M. 1, Silva Filho, W. F. 1 & Gonzalez Chiozza, S. 1  
1 Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

#### **RESUMO**

O Lineamento Transbrasiliano é uma importante zona de cisalhamento de dimensão continental e direção NE-SW que se estende em território brasileiro do litoral oeste do Ceará, através da Bacia do Parnaíba até o noroeste de Goiás na Bacia do Paraná. Com o objetivo de investigar feições de possível origem tectônica a partir da análise morfotectônica, foram utilizados parâmetros que determinam quantitativamente as características físicas da rede de drenagem. A área foi dimensionada no litoral oeste do estado do Ceará, abrangendo as adjacências do Lineamento Transbrasiliano devido a várias ocorrências de sismos na região e pela sua importância dentro do contexto geológico e geomorfológico cearense. A metodologia aplicada contou com o apoio das técnicas de geoprocessamento e baseou-se na análise dos índices morfométricos: relação declividade extensão (RDE), fator assimétrico (Af), sinuosidade de vertente de vale (S<sub>v</sub>) e integral hipsométrica (Hi). Tais índices empregados em conjunto foram convertidos segundo classes de intensidade tectônica (Cit) que permitiu inferir o índice de atividade tectônica (Iat). Os resultados mostraram valores condizentes com a influência de deformações neotectônicas, onde 75% das sub-bacias analisadas apresentaram indicações de alta atividade tectônica, onde foram subdivididas em duas classes de valores: 1,75 (classe 1 - Alto) e 2,00 (classe 2 – Alto a moderado). Os 25% da área restante enquadraram-se na categoria de atividade tectônica moderada (classe 3) com o valor de 2,25.

Palavras-chave: Lineamento Transbrasiliano. Neotectônica. Índices morfométricos. Província Borborema.

## ABSTRACT

Transbrasiliano lineament is a great shear zone with continental dimension and a NE-SW trend which extends in Brazilian territory of the western coast of Ceará, through the Parnaíba Basin to the northwest of Goías, in the Paraná Basin. With the aim of investigating possible tectonic origin from the morphotectonic analysis, was used parameters that quantitatively determine the physical characteristics of the drainage network. The area was sized on the west coast of the state of Ceará, encompassing the adjacencies of the Transbrasiliano lineament due to several occurrences of small earthquakes in the region and its importance within the geological and geomorphological context of Ceará. An applied methodology was supported by geoprocessing techniques and was based on the analysis of the morphometric indices: ratio slope extension (RDE), asymmetric factor (Af), valley strand sinuosity (S<sub>vv</sub>) and hypsometric integral (Hi). These indices used together were converted according to classes of tectonic intensity (Cit) that allowed to infer the index of tectonic activity (Iat). The results showed values consistent with the influence of neotectonic deformations, where 75% of the analyzed sub-basins presented indications of high tectonic activity, they were subdivided into two classes values: 1,75 (class 1 - high) and 2,0 (class 2 –high/moderate). The remaining 25% of the area falls within the category of moderate tectonic activity (class 3) with a value of 2.25.

**Keywords:** Transbrasiliano Lineament. Neotectonic. Morphometric indexes. Borborema Province.

## INTRODUÇÃO

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) (SCHOBENHAUS *et al.*, 1975) é uma das principais zonas de cisalhamento do mundo, recortando o continente sul-americano do Nordeste do Brasil até a Argentina (CORDANI *et al.*, 2013) e se relacionando à aglutinação do supercontinente Gondwana, entre o Neoproterozóico e Eopaleozóico (BARROS *et al.*, 2015).

A Província Borborema (ALMEIDA *et al.*, 1981), domínio geotectônico no nordeste do Brasil onde ocorre a extremidade nordeste do LTB, é uma das zonas sísmicas mais ativas da Plataforma Sul Americana (BEZERRA *et al.*, 2011), especialmente ao redor da Bacia Potiguar (BEZERRA, VITA-FINZI, 2000). O regime tectônico atual na região é

extensional de 0 a 2,5 km de profundidade e transcorrente em maiores profundidades, com esforço máximo horizontal NW-SE em grande parte da região costeira do Ceará (OLIVEIRA, 2015). Esse contexto neotectônico remonta ao Mioceno, deformando e mesmo controlando a deposição da Formação Barreiras (BEZERRA, VITA-FINZI, 2000).

A extremidade NE do LTB no Noroeste do Ceará coincide com a Zona Sísmica de Acaraú (FERREIRA *et al.*, 1998; FRANÇA; FERREIRA; TAKEYA, 2004; OLIVEIRA, 2015) e pode ter sido afetada por movimentos crustais rasos em sua continuação offshore na Bacia do Ceará, entre o final do Pleistoceno e início do Holoceno (SILVA FILHO, 2004; SILVA FILHO *et al.*, 2007).

Pode-se afirmar que a região do Noroeste do Ceará é relativamente bem estudada sob o ponto de vista sismológico, enquanto é carente de estudos morfotectônicos que poderiam incrementar os conhecimentos sobre a abrangência espaço-temporal dessa sismicidade. Portanto, resolveu-se desenvolver uma investigação com o objetivo de identificar a possível atividade neotectônica e sua intensidade relativa na região que abrange a extremidade nordeste do LTB recoberta pela Formação Barreiras, especificamente na região litorânea noroeste do Ceará, compreendendo os municípios de Trairí a Camocim (Figura 3). A área foi escolhida de forma a possibilitar a detecção de contrastes entre a zona imediatamente próxima à possível continuidade do LTB sob a cobertura da Formação Barreiras e as zonas mais distantes, onde essa influência hipoteticamente seria atenuada ou inexistente.

## CONTEXTO GEOLÓGICO E NEOTECTÔNICO

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Província Borborema (PB) (ALMEIDA *et al.*, 1981), definida atualmente como um sistema orogênico complexo intensamente afetado por processos deformacionais, magmáticos e metamórficos, especialmente durante a convergência que deu origem ao supercontinente Gondwana: a orogenia Brasiliana/Pan-Africana entre o Neoproterozóico e início do Fanerozóico (PADILHA *et al.*, 2017).

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) representa uma das mais significativas descontinuidades da PB, com possível continuação na África Ocidental como Lineamento Hogar-Kandi (CORDANI *et al.*, 2013; TROMPETTE, 1994). Sua configuração atual foi resultado da reativação precoce, em transcorrência dextral, de zonas de sutura de 620-610 Ma, entre o Bloco Parnaíba (Craton São Luís-Oeste Africano) e o embasamento da PB (ARAÚJO

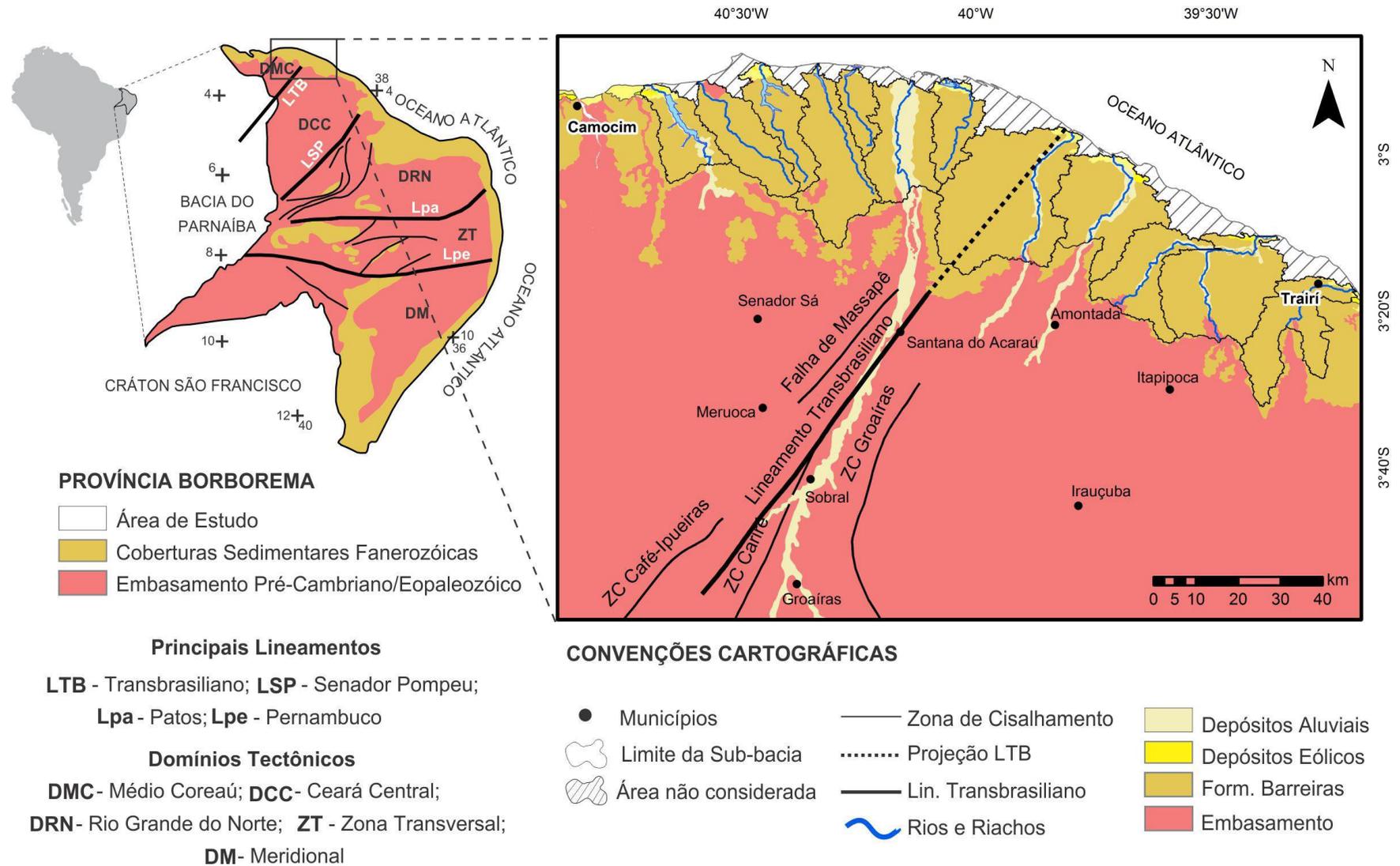
*et al.*, 2014).

No Ceará, o LTB aflora entre a Bacia do Parnaíba e a faixa costeira, em um cinturão de descontinuidades das quais a Falha Sobral-Pedro II é a principal, em associação com outras falhas como Café-Ipueiras e Massapê (COSTA *et al.*, 1973). A zona de cisalhamento Sobral-Pedro II é a descontinuidade que separa os domínios geotectônicos Médio Coreaú e Ceará Central (SILVA FILHO, 2004) (Figura 3).

De acordo com os dados disponíveis, durante o Cretáceo (Barremiano-Albiano), o LTB apresentou atividade apenas na margem continental, em resposta aos esforços de abertura do Oceano Atlântico Equatorial (MATOS, 1992), controlando um alto estrutural na Bacia Ceará (Zona Transversal) (ZÁLAN; WARNE, 1985).

No pós-Albiano, a PB foi marcada por um amplo soerguimento, em torno de 100-90 Ma, gerando uma topografia permanente após a separação Brasil-África. A deposição da Formação Barreiras, em contexto de clima árido e dois ciclos de oscilação eustática, ocorreu em um avental contínuo e predominantemente siliciclástico próximo à costa, entre 20 e 4 Ma (ARAI, 2006; PEUVAST *et al.*, 2008), sendo influenciado também por um pulso de soerguimento miocênico (MORAIS NETO *et al.*, 2009), associando-se a falhamentos normais e transcorrentes bem difundidos que controlaram a sua deposição em calhas tectônicas (BEZERRA, 2000).

Figura 3 – Localização da área de pesquisa dentro do contexto geológico regional



**PROVÍNCIA BORBOREMA**

- Área de Estudo
- Coberturas Sedimentares Fanerozóicas
- Embasamento Pré-Cambriano/Eopaleozóico

**Principais Lineamentos**

**LTB** - Transbrasiliano; **LSP** - Senador Pompeu;  
**Lpa** - Patos; **Lpe** - Pernambuco

**Domínios Tectônicos**

**DMC**- Médio Coreaú; **DCC**- Ceará Central;  
**DRN**- Rio Grande do Norte; **ZT** - Zona Transversal;  
**DM**- Meridional

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Municípios
- Zona de Cisalhamento
- Depósitos Aluviais
- Limite da Sub-bacia
- Projeção LTB
- Depósitos Eólicos
- Área não considerada
- Lin. Transbrasiliano
- Form. Barreiras
- Rios e Riachos
- Embasamento

Fonte: Adaptado de Brito Neves *et al.* (2000) e Santos *et al.* (2000).

As causas e cronologia exata dos soerguimentos pós-cenomanianos são ainda pouco entendidas, possivelmente reflexo da baixa rigidez da litosfera a cargas sedimentares na margem, associada a pulsos magmáticos oligocênicos e/ou esforços intraplaca gerados pela convergência andina (PEUVAST *et al.*, 2008).

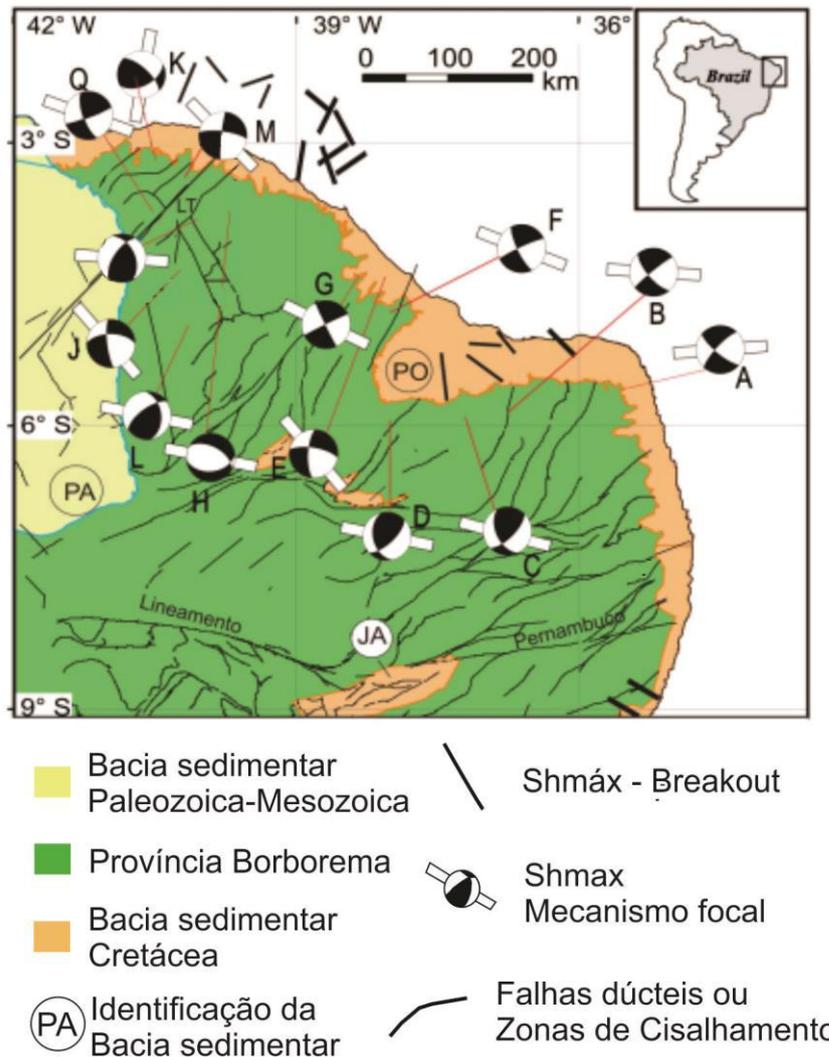
O soerguimento miocênico certamente se insere na geo-história da sismicidade do nordeste do Brasil, que tem sido reconhecida como a região de maior atividade sísmica intraplaca do país (BERROCAL *et al.*, 1984; ASSUMPÇÃO, 1992). A maior parte desta atividade sísmica está concentrada nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, ocorrendo principalmente na forma de enxames (duração de meses a vários anos) e com sismos rasos apresentando profundidades inferiores a 12km (FERREIRA *et al.*, 1998). Existem também indícios de paleossismicidade na região, como falhas superficiais e sismitos (BEZERRA; VITA-FINZI, 2000).

No contexto do nordeste brasileiro, a região noroeste do estado do Ceará tem apresentado atividade sísmica relevante. O primeiro evento documentado na região ocorreu em 1810, com o epicentro localizado nas proximidades do município de Granja (FERREIRA; ASSUMPÇÃO, 1983). Os maiores eventos registrados instrumentalmente ocorreram em Irauçuba (1991) e Groaíras (1988), alcançando a magnitude de 4,8 mb e 4,1 mb, respectivamente, e tendo ambos atingido a intensidade máxima de VI MM (FERREIRA *et al.*, 1998). Durante o período de 2001 a 2010, ainda na PB, o noroeste do Ceará permaneceu bem ativo (BEZERRA *et al.*, 2011). A zona sísmica de Acaraú (ZSA) localizada entre os Domínios Médio Coreaú e Ceará Central está entre as áreas mais sismicamente ativas na PB e desde agosto de 2007 tem sido monitorada (MOURA *et al.*, 2014). No entanto tais registros têm ajudado a classificar padrões de sismicidade com diferentes contextos tectônicos e estruturais.

A atividade sísmica na região tem se manifestado, geralmente, na forma de sequências com pequenas e longas durações (FERREIRA *et al.*, 1998; FRANÇA, FERREIRA, TAKEYA, 2004; LIMA NETO *et al.*, 2013, 2014; OLIVEIRA, 2015) e com profundidade raramente excedendo 10km.

A determinação do campo de esforços tectônicos com o auxílio de mecanismos focais tem sido utilizada com sucesso para discutir a ocorrência de sismos intraplaca na PB (ASSUMPÇÃO, 1992; BEZERRA *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 1998; LIMA NETO *et al.*, 2013, 2014; LOPES *et al.*, 2010; OLIVEIRA, 2015). Em geral, os mecanismos focais indicam um regime transcorrente, com compressão paralela à linha de costa E-W a NW-SE (BEZERRA; VITA-FINZI, 2000) (Figura 4).

Figura 4 - Mapa sismotectônico da parte norte da PB



Fonte: Oliveira, (2015). Os mecanismos focais são representados pelas “bolas de praia”, onde as barras inseridas representam a direção do esforço máximo horizontal (SHmax). Mecanismos focais (magnitude body wave): A e B - João Câmara, C - Augusto Severo, D - Tabuleiro Grande, E - Palhano, F - Pacajus, G - Cascavel, H e I - Irauçuba (4,9 $m_b$ ), J - Groáfrás (4,1 $m_b$ ), K - Senador Sá (3,0 $m_b$ ), L - Hidrolândia (2,4 $m_b$ ), Q - Serra da Meruoca (4,2 $m_b$ ) e M - Santana do Acaraú (2,7 $m_b$ ). LT - Lineamento Transbrasiliânico. Bacias sedimentares: PA - Parnaíba, JÁ - Jatobá e PO - Potiguar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para avaliar a atividade neotectônica na área costeira em torno do LTB foi adaptado de El Hamdouni *et al.* (2008), com atenção às modificações para uma área em contexto muito próximo ao do presente estudo, feitas por Andrades Filho e Rosetti (2015). Desta forma, o método baseia-se na aplicação dos seguintes índices morfométricos: relação declividade extensão (*RDE*), fator assimétrico (*Af*), integral hipsométrica (*Hi*),

sinuosidade de vertente de vale ( $S_{vv}$ ). Através do estabelecimento de classes de intensidade tectônica ( $Cit$ ) para cada um dos parâmetros acima, é feita a síntese das informações, obtendo-se um índice de atividade tectônica relativa ( $Iat$ ), que caracteriza a atividade neotectônica de cada sub-bacia.

Para a determinação dos índices morfométricos, foram obtidas imagens SRTM diretamente do site da USGS (*United States Geological Survey*) com resolução espacial de 30m e para o processamento de dados utilizou-se o software Arcgis® 10.2.2 com o auxílio dos aplicativos ArcHydro Tools®, Hypsometric® e AzimuthFinder®. Além disso, utilizou-se o programa Excel e Grapher® 12.0 para formulações das variáveis e dos gráficos apresentados.

As imagens SRTM foram reunidas em mosaico e as redes de drenagem foram extraídas automaticamente aplicando-se os comandos: *fillsinks* (preenchimento de depressões); *flow direction* (direção de fluxo); *flow accumulation* (fluxo acumulado). A geração da rede de drenagem foi obtida com valor de célula indicado pelo usuário, seguindo-se à delimitação das bacias e conversão para o formato vetorial (*shapefile*). De forma específica, foram definidos os limiares 3.000 e 50.000 no cálculo da direção de fluxo, para o detalhamento dos cursos d'água e bacias hidrográficas, respectivamente. Com os dados vetoriais gerados, fez-se os ajustes e as correções necessárias manualmente.

A segunda fase consistiu na hierarquização dos canais fluviais para atribuição de sua devida ordem, segundo Horton (1945), permitindo assim o reconhecimento do canal principal de cada bacia. Os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber tributários de primeira e segunda ordem, e assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.106). Para complementar o processo de determinação do canal principal, foi utilizada a base cartográfica do Mapa Geológico do Ceará (CPRM, 2003) na identificação dos rios principais contidos na área.

Após a determinação dos canais principais e dos perímetros das bacias, ou seja, das unidades básicas de análise, procedeu-se à obtenção dos índices morfométricos.

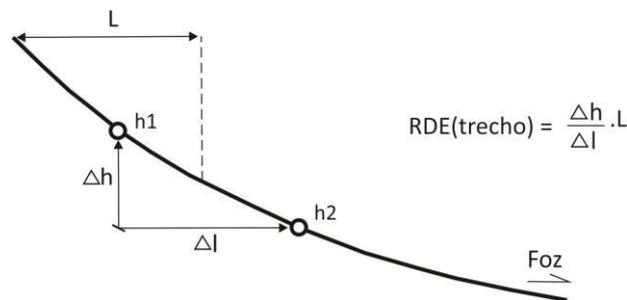
O índice relação declividade-extensão ( $RDE$ ) (HACK, 1973) foi o utilizado para analisar a influência da tectônica ativa no perfil dos principais canais fluviais da área. Esse índice correlaciona-se com os níveis de energia da corrente (*stream power*), refletida na capacidade de erodir o substrato e/ou de transportar a carga sedimentar. O índice cresce onde o rio flui sobre rochas mais resistentes e decresce onde percorre um substrato mais friável (ETCHEBEHERE *et al.*, 2006).

O cálculo do *RDE* por trechos é processado a partir da seguinte equação:

$$RDE_{(\text{trecho})} = (\Delta h / \Delta l) \cdot L$$

Onde,  $\Delta h$  refere à diferença altimétrica;  $\Delta l$  é o comprimento horizontal do referido segmento e  $L$  é o comprimento total do início do canal até a metade do trecho para onde o índice está sendo calculado (Figura 5).

Figura 5 – Esquema ilustrativo da obtenção das variáveis para o cálculo do índice RDE



Fonte: Modificado de Etchebehere (2000).

Os valores de *RDE* total são calculados pela diferença altimétrica em metros dos pontos da nascente e da foz de cada drenagem, e a extensão total de cada rio. Os índices *RDE* finais foram obtidos a partir da razão entre  $RDE_{(\text{trecho})}$  e  $RDE_{(\text{total})}$  para cada rio principal e classificados em quatro intervalos, sendo  $RDE < 2$  considerado não anômalo e três anômalos (em ordem crescente):  $2 \leq RDE < 4$  ;  $4 \leq RDE < 6$  e  $6 \leq RDE$  (SEEBER; GORNITZ, 1983; ANDRADES FILHO; ROSSETI, 2015).

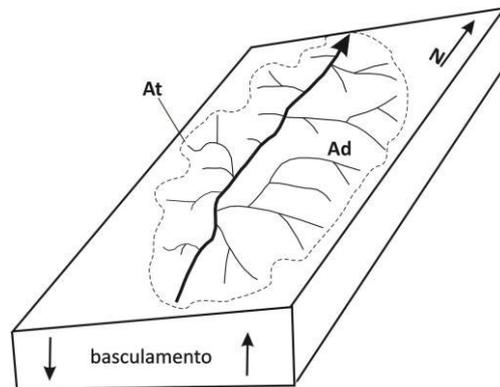
Na tentativa de avaliar a existência de possíveis basculamentos tectônicos nas sub-bacias, aplicou-se o índice fator assimétrico (*Af*). Esta ferramenta possibilita a visualização da migração preferencial dos canais, que pode ser decorrente de processos fluviais internos (autocíclicos) ou de forçantes externos, relacionados à herança litoestrutural ou tectônica ativa (COX, 1994; KELLER; PINTER, 1996). O fator de assimetria é dado pela equação:

$$Af = 100 (Ad/At)$$

O processamento é realizado com a divisão da bacia a partir do rio principal em

duas partes, porção direita e esquerda.  $Ad$  é o valor correspondente a área da porção direita da bacia no sentido jusante e  $At$  corresponde à área total da bacia de drenagem (Figura 6). Quando o índice resultante possui valor muito próximo ou igual a 50, a bacia possui condições estáveis. No entanto, uma resultante abaixo ou acima de 50 pode ocorrer devido à mudança de inclinação do terreno. Valores de  $Af$  muito altos ou baixos podem indicar, respectivamente, basculamento à esquerda ou à direita da bacia hidrográfica (COX, 1994). Afim de classificar tal índice, Andrades Filho e Rosseti (2015) utilizaram como valor final o módulo de  $Af$  subtraído de 50 ( $|Af-50|$ ). Onde a resultante foi categorizada em: baixa ( $0 < |Af-50| \leq 7$ ), média ( $7 < |Af-50| \leq 15$ ) e alta ( $15 < |Af-50|$ ).

Figura 6 – Ilustração esquemática do índice fator assimétrico para o caso de influência de tectônica ativa



Fonte: Modificado de Keller; Pinter (2002).

A curva hipsométrica é tratada por Linsley Junior *et al.*, (1949) como a representação gráfica das variações de altitude da bacia em relação a sua área.

A integral hipsométrica ( $Hi$ ), descreve a curva de distribuição de elevações do terreno em uma determinada bacia hidrográfica, por meio da frequência acumulada das altitudes (STRAHLER, 1952). Partindo dessa premissa, o índice  $Hi$  pode representar determinada porção do terreno que ainda não esteve sujeita a processos erosivos, configurando-se como indicador de diferentes estágios evolutivos de denudação (PÉREZ-PEÑA *et al.*, 2009). A expressão utilizada para o cálculo do referido índice é:

$$Hi = (h \text{ média} - h \text{ mínima}) / (h \text{ máxima} - h \text{ mínima})$$

Onde,  $h$  é elevação. Keller e Pinter (2002), também recomendam a necessidade de

um mínimo de 50 pontos de elevação para obtenção da média.

No cálculo dos valores de  $Hi$ , foi necessário fazer o recorte das imagens SRTM referente a cada sub-bacia. A partir daí, a execução foi automática, com a extensão Hypsometric no programa Arcgis® 10.2.2. Os gráficos foram elaborados a partir da exportação dos dados gerados pelo aplicativo para a planilha do Excel. A classificação foi ordenada conforme os valores de  $Hi$  da seguinte maneira (EL HAMDOUNI *et al.*, 2008):  $> 0,5$  (curvas convexas), entre 0,4 e 0,5 (curvas côncavo-convexas ou retilíneas) e  $< 0,4$  (curva côncavas). Os valores do  $Hi$  elevados associam-se a terrenos jovens, que podem ter sido soerguidos recentemente ou associados à litologias resistentes. Os valores de  $Hi$  baixos associam-se a relevos maduros, com paisagens bem denudadas, afetadas por processos erosivos por tempo prolongado.

Outra técnica morfométrica utilizada para averiguação do controle tectônico foi uma adaptação do índice sinuosidade de frente de montanha ( $Smf$ ) (BULL; WALLACE, 1985). Esse parâmetro reflete o balanço entre as forças erosivas e tectônicas, de forma que as frentes montanhosas recentemente soerguidas (escarpas de falhas) são relativamente retilíneas, assumindo assim valores baixos; uma vez reduzido ou cessado o tectonismo, os processos erosivos incidem sobre a frente montanhosa, tornando-a irregular e elevando os valores de  $Smf$  (FERREIRA, 2001). A adaptação para o presente estudo consistiu em nova denominação para  $Smf$ , designada de sinuosidade de vertente de vale ( $S_{vv}$ ), devido ao relevo da região ser bastante dissecado, com altitudes variando entre 0 a 100m, e não haver “frentes de montanhas” e sim vertentes de vales com retilinearidade. O índice  $S_{vv}$  pode ser mensurado por meio da expressão:

$$S_{vv} = Lmf/Ls$$

No qual,  $Lmf$  é o comprimento da vertente do vale, medida onde ocorre mudança de declividade; e  $Ls$  é o comprimento em linha reta. Na prática, para obter tais dados, é necessário identificar através do MDE e mapa de declividade as feições correspondentes às vertentes dentro da bacia hidrográfica. Seguindo o processo, em uma mesma feição dois arquivos vetoriais são gerados, o primeiro em conformidade com o traço da vertente ( $Lmf$ ) e o segundo retilíneo ( $Ls$ ).

Já que os valores que indicam possíveis faces de relevo decorrentes de processos tectônicos são próximos a 1,0 (ANDRADES; ROSSETI, 2015; EL HAMDOUNI *et al.*, 2008), os valores de  $S_{vv}$  foram assim classificados: 1 a 1,1 (alto índice de atividade tectônica); entre

1,1 e 1,5 (moderado índice de atividade tectônica), e; valor maior que 1,5 (inatividade tectônica). Em complemento, foram construídas rosetas com pétalas de 10° para uma melhor representação da repartição das famílias de possíveis fraturas/falhas refletidas na retilinearidade das vertentes.

Por fim, foi especificado o Índice de Atividade Tectônica (*Iat*), que quantifica um valor relativo à atividade neotectônica em relação a uma determinada área (EL HAMDOUNI *et al.*, 2008). Contudo, para determinar o *Iat*, o primeiro passo é classificar os resultados obtidos nos índices morfométricos (*RDE*, *Af*, *Hi* e *Svv*) em categorias de intensidade relativa (*Cit*) (ANDRADES FILHO; ROSSETI, 2005): 1 – alta atividade tectônica; 2 – moderada atividade tectônica e 3 - baixa atividade tectônica.

Para os resultados de *RDE*, as categorias *Cit* foram estabelecidas tendo em vista as subdivisões apresentadas anteriormente: *Cit*=1 para sub-bacias com mais de 50% dos trechos de drenagem anômalos; *Cit*=2 para aquelas com menos de 50% de trechos anômalos, e *Cit*=3 para sub-bacias sem anomalias. Para *Af*, cada categoria representou um valor de *Cit*: *Cit*=1 para  $|Af-50| > 15$ ; *Cit*=2 para  $7 < |Af-50| \leq 15$  e *Cit*=3 para  $0 \leq |Af-50| \leq 7$ . No índice *Hi*, o ordenamento foi estabelecido da seguinte maneira (EL HAMDOUNI *et al.*, 2008): *Cit*=1 para  $Hi \geq 0,5$ ; *Cit*=2 para  $0,4 \leq Hi < 0,5$ , e; *Cit*=3 para  $0 \leq Hi < 0,4$ . Com relação ao índice *Svv*, o *Cit* foi estipulado com base na média dos valores encontrados em cada sub-bacia individualmente, onde: *Cit*=1 para  $1,0 < Svv \leq 1,1$ ; *Cit*=2 para  $1,1 < Svv \leq 1,5$ , e; *Cit*=3 para  $Svv > 1,5$  (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação entre classes de índices morfométricos e Categorias de Intensidade Tectônica (*Cit*)

Índice	Classes	Cit	Intensidade
<b>RDE</b>	0% de anomalias	3	Baixa
	Até 50% de anomalias	2	Moderada
	Mais de 50% de anomalias	1	Alta
<b>Af</b>	$0 \leq  Af-50  \leq 7$	3	Baixa
	$7 <  Af-50  \leq 15$	2	Moderada
	$ Af-50  > 15$	1	Alta
<b>Hi</b>	$0 \leq Hi < 0,4$	3	Baixa
	$0,4 \leq Hi < 0,5$	2	Moderada
	$Hi \geq 0,5$	1	Alta
<b>Svv</b>	$Svv > 1,5$	3	Baixa
	$1,1 < Svv \leq 1,5$	2	Moderada
	$1,0 < Svv \leq 1,1$	1	Alta

Fonte: elaborado pela autora.

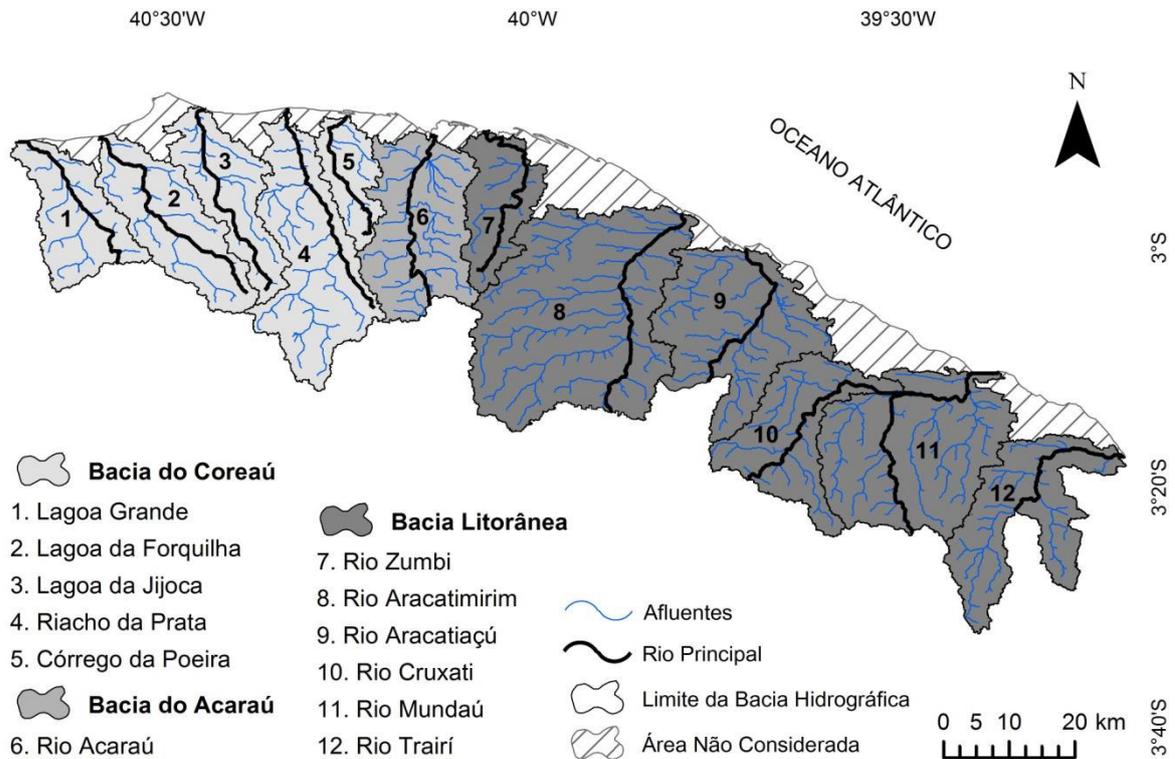
O Segundo passo foi a determinação de valores de *Iat* para cada sub-bacia, a partir da média aritmética dos *Cits* de cada índice morfométrico. El Hamdouni *et al.* (2008) utilizaram a seguinte classificação:  $1 \leq Iat < 1,5$  = intensidade muito alta;  $1,5 \leq Iat < 2,0$  = intensidade Alta;  $2,0 \leq Iat < 2,5$  = intensidade moderada, e;  $Iat \geq 2,5$  = baixo ou inativo. Como será apresentado no item a seguir, os valores de *Iat* obtidos foram 1,75, 2,0 e 2,25. Já que 2,0 é um valor limítrofe entre as intensidades alta e moderada, e também para a geração de maior contraste entre as sub-bacias, optou-se pela seguinte classificação: *Iat* = 1,75 (alto); *Iat* = 2,0 (alto a moderado); *Iat* = 2,25 (moderado).

## RESULTADOS

A análise da rede de drenagem permitiu o delineamento de 12 sub-bacias de 3ª e 4ª ordem, identificadas como; (1) Lagoa grande, (2) Lagoa da Forquilha, (3) Lagoa da Jijoca, (4) Riacho da Prata e (5) Córrego da Poeira, pertencentes à bacia do Coreáú; representando a bacia do Acaraú, (6) Rio Acaraú; e relacionadas à bacia Litorânea estão (7) Rio Zumbi, (8) Rio Aracatimirim, (9) Rio Aracatiaú, (10) Rio Cruxati, (11) Rio Mundaú e (12) Rio Trairí. No entanto, as áreas mais litorâneas foram desconsideradas da análise por apresentar

drenagens descontínuas e muito influenciadas pela migração de dunas eólicas (Figura 7).

Figura 7 – Identificação das bacias hidrográficas e seus respectivos canais principais utilizados na aplicação dos índices morfométricos



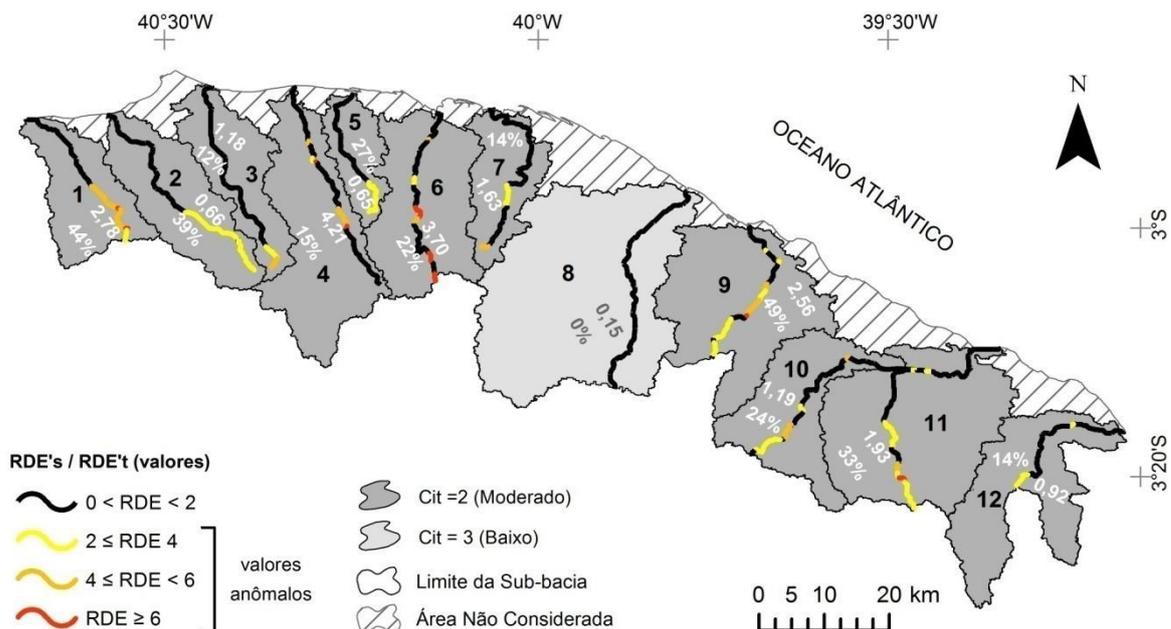
Fonte: elaborado pela autora.

O cálculo do índice relação declividade extensão (*RDE*) foi aplicado em todos os canais principais das 12 sub-bacias (Figura 6), definindo 187 trechos de drenagem dos quais 63 trechos estão relacionados a anomalias, perfazendo 34% do total, em diferentes intensidades. Apenas a sub-bacia 8, que tem como canal principal o Rio Aracatimirim, não apresentou segmentos anômalos, ou seja, 27 trechos analisados indicaram que a drenagem se mantém ajustada. Cabe destacar o Rio Aracatiaçú (9), que contém segmentos anômalos em maior quantidade (49%), apresentando 7 trechos com valores moderados, 4 altos e 1 altíssimo. Em seguida, vêm os rios, Lagoa grande (1), Lagoa da Forquilha (2) e Rio Mundaú (11), com trechos anômalos que correspondem a 44%, 39% e 33% de sua extensão total, respectivamente. Levando-se em conta aqueles com trechos anômalos entre 10 e 30% da extensão total, do maior para o menor percentual, tem-se os rios Córrego da Poeira (5), Rio Cruxati (10), Rio Acaraú (6), Riacho da Prata (4), Rio Zumbi (7) e Lagoa da Jijoca (3). Observou-se que as anomalias de drenagem ocorrem, principalmente, nos cursos superiores e

médios dos rios.

As anomalias mais significativas, ou seja, com valores altíssimos ( $RDE \geq 6$ ) foram detectadas na Lagoa grande (1), Riacho da Prata (4), Rio Acaraú (6), Rio Aracatiáçú (9), Rio Mundaú (11) e Rio Trairí (12). Constatou-se também aquelas com valores altos ( $4 \leq RDE < 6$ ) na Lagoa da Jijoca (3), Rio Zumbi (7) e Rio Cruxati (10).

Figura 8 - Identificação dos segmentos de rios anômalos e não-anômalos definidos a partir do índice geomorfológico RDE (Relação Declividade-extensão) com porcentagem dos trechos anômalos e média dos valores absolutos de cada sub-bacia



Fonte: elaborado pela autora. Identificação das sub-bacias na figura 7.

Todas as sub-bacias apresentaram intensidade média, enquadrando-se na categoria 2 do Cit, com exceção da sub-bacia (8) Rio Aracatimirim, única categorizada com Cit=3 baixa. Entretanto, as anomalias inferidas estão dispostas totalmente sobre terrenos da Formação Barreiras, eliminando o fator litológico como causador principal da elevação do índice o que sugere atividade tectônica.

A aplicação do índice fator assimétrico ( $A_f$ ), revelou valores entre o mínimo de 0,07 no Rio Acaraú (6) e máximo de 35,88 no Riacho da Prata (4). A utilização dessa técnica indicou condições assimétricas com possíveis basculamentos tanto para margem direita, quanto para margem esquerda das sub-bacias. Observou-se também uma heterogeneidade

quanto à intensidade assimétrica (Tabela 2).

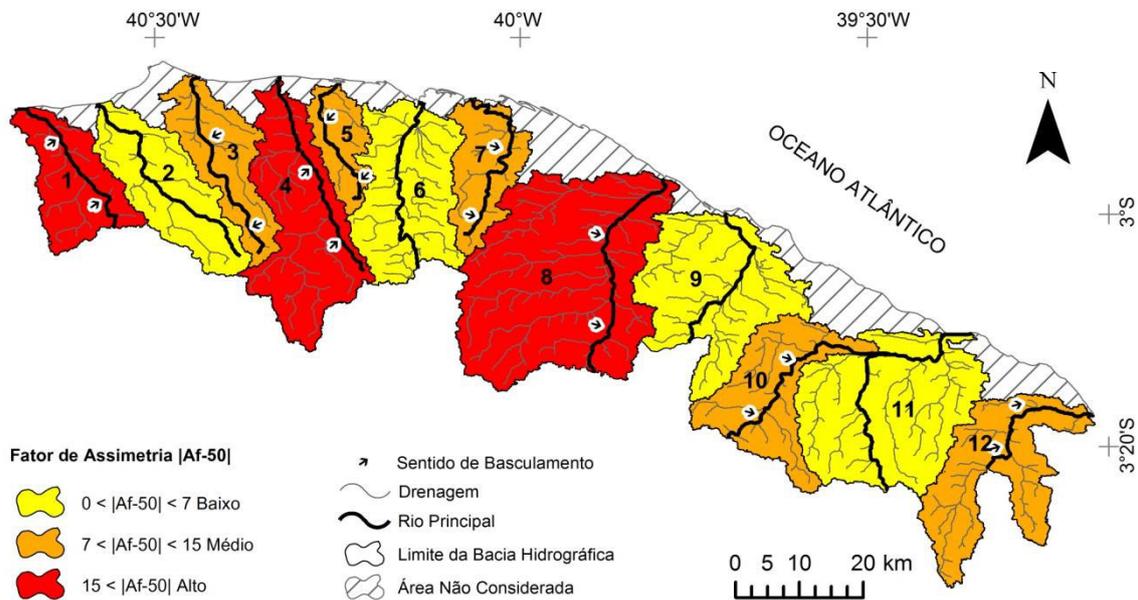
Tabela 2 - Variáveis aplicadas para obtenção do índice Fator Assimétricas (Af) e em destaque, o nível de intensidade em que elas ocorrem

Sub-bacia	Área da bacia (direita) em km <sup>2</sup>	Área da bacia (total) em km <sup>2</sup>	Af	Af-50	Cit
Lagoa Grande (1)	81,073	273,506	34,135	15,86	1
Lagoa da Forquilha (2)	133,138	307,236	43,334	6,67	3
Lagoa da Jijoca (3)	145,912	237,919	61,329	11,33	2
Riacho da Prata (4)	61,914	438,535	14,118	35,88	1
Córrego da Poeira (5)	76,617	128,469	59,639	9,64	2
Rio Acaraú (6)	191,322	383,160	49,933	0,07	3
Rio Zumbi (7)	71,981	199,237	36,128	13,87	2
Rio Aracatimirim (8)	170,367	852,552	19,983	30,02	1
Rio Aracatiaçú (9)	214,504	471,348	45,509	4,49	3
Rio Cruxati (10)	116,405	309,465	37,615	12,39	2
Rio Mundaú (11)	317,584	571,724	55,549	5,55	3
Rio Trairí (12)	130,403	361,576	36,065	13,93	2

Fonte: elaborado pela autora. Legenda: Baixo = amarelo, Médio = laranja e Alto = vermelho.

O primeiro agrupamento ( $Cit=1$ ) indica uma assimetria alta ( $15 < |Af-50|$ ) e está representado pelas sub-bacias Lagoa Grande (1), Riacho da Prata (4) e Rio Aracatimirim (8), refletindo um deslocamento para a direita. Compondo o segundo agrupamento ( $Cit=2$ ) com índice de assimetria média ( $7 < |Af-50| \leq 15$ ) temos, a Lagoa da Jijoca (3), Córrego da Poeira (5), Rio Zumbi (7), Rio Cruxati (10) e Rio Trairí (12) apontando um deslocamento para a esquerda. Já aquelas sub-bacias que registraram condições de baixa assimetria, ou seja, não basculados ( $0 < |Af-50| < 7$ ) são: Lagoa da Forquilha (2), Rio Acaraú (6), Rio Aracatiaçú (9) e Rio Mundaú (11) ( $Cit=3$ ) (Figura 9).

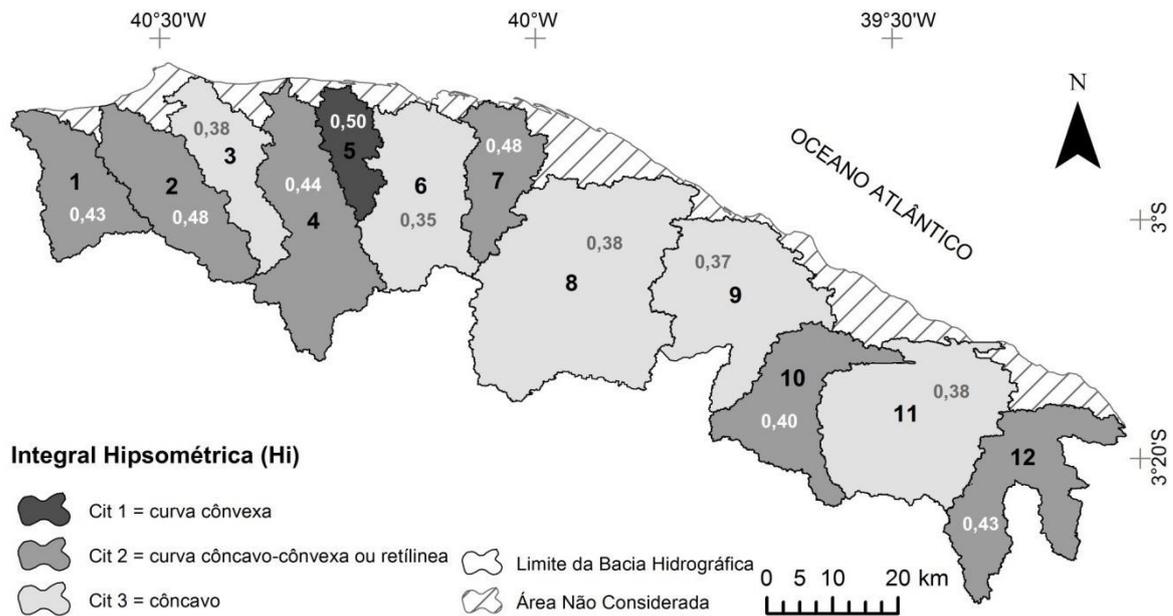
Figura 9 - Mapa do índice fator assimétrico indicando o grau de intensidade e sentido preferencial de basculamento para cada sub-bacia



Fonte: elaborado pela autora.

O índice *Hi* das sub-bacias está representado graficamente nas figuras 8 e 9. É possível notar que os valores de *Hi* não variam muito para as sub-bacias da região em questão, assentadas sobre uma mesma unidade geológica (Formação Barreiras), assumindo valores de 0,35 a 0,50.

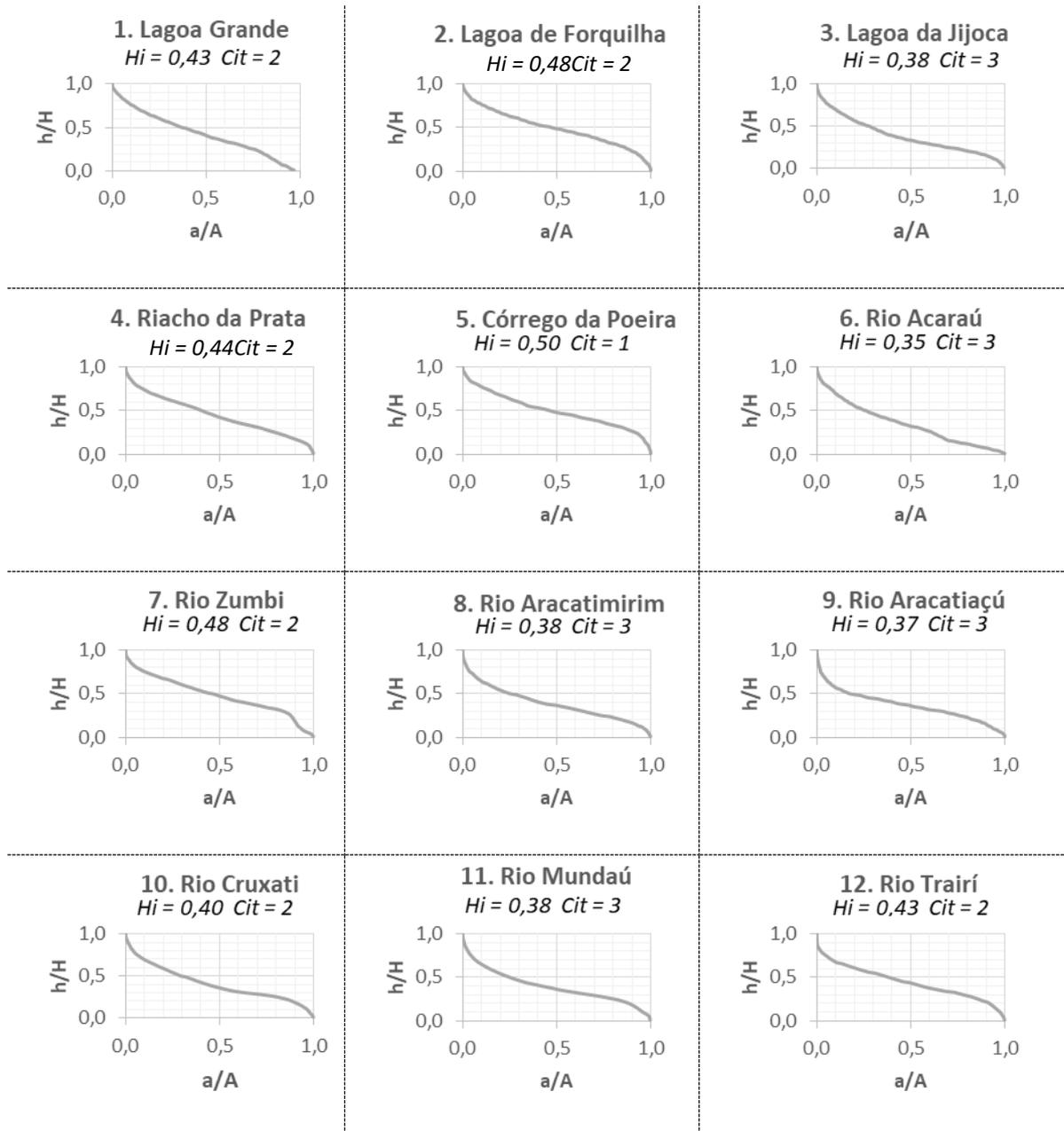
Figura 10 - Representação gráfica das classes de  $H_i$  para as sub-bacias com os seus respectivos valores



Fonte: elaborado pela autora.

Constata-se também que as sub-bacias Lagoa da Jijoca (3), Rio Acaraú (6), Rio Aracatimirim (8), Rio Aracatiagú (9) e Rio Mundaú (11) denotam curvas hipsométricas côncavas, ou seja, baixa intensidade tectônica e  $Cit = 3$ . Contudo aqueles relacionados com intensidade moderada estão as sub-bacias Lagoa Grande (1), Lagoa de Forquilha (2), Riacho da Prata (4), Rio Zumbi (7), Rio Cruxati (10) e Rio Trairí (12) com curvas hipsométricas côncavo-convexas ( $Cit = 2$ ), apresentando apenas na sub-bacia Lagoa Grande (1) uma pequena retilinearidade. Além disto, a sub-bacia (5) Córrego da Poeira foi a única que apontou índice hipsométrico com alta intensidade ( $Cit = 1$ ) com uma curva côncavo-convexa explicada por encontrar-se no limite da classificação adotada.

Figura 11 - Gráficos de integrais hipsométricas ( $H_i$ ) das 12 sub-bacias



Fonte: elaborado pela autora. Legenda: A – superfície total da bacia; a – área da bacia acima de uma determinada cota (h); H – elevação máxima da bacia e  $H_i$  – valor da integral hipsométricas. Localização das sub-bacias na figura 10.

O cálculo do índice sinuosidade de vertente de vale ( $S_{vv}$ ), destacou um total de 189 feições de relevo retilíneos com ruptura de declividade (vertentes) que para facilitar a análise foram repartidas em dois setores que abrangem 12 sub-bacias da área de estudo (Figura 10 e 11). Para fins práticos, o critério utilizado para estabelecer cada vertente foi a definição do agrupamento em duas classes de declividade (até 30% e maior que 30%), tendo em vista um relevo relativamente plano e a escala de trabalho. Para avaliação desse

parâmetro, obteve-se a média do comprimento em planta dessas seções para cada sub-bacia individual (Tabela 3). Somente foram consideradas feições com comprimento  $\geq 2$ km.

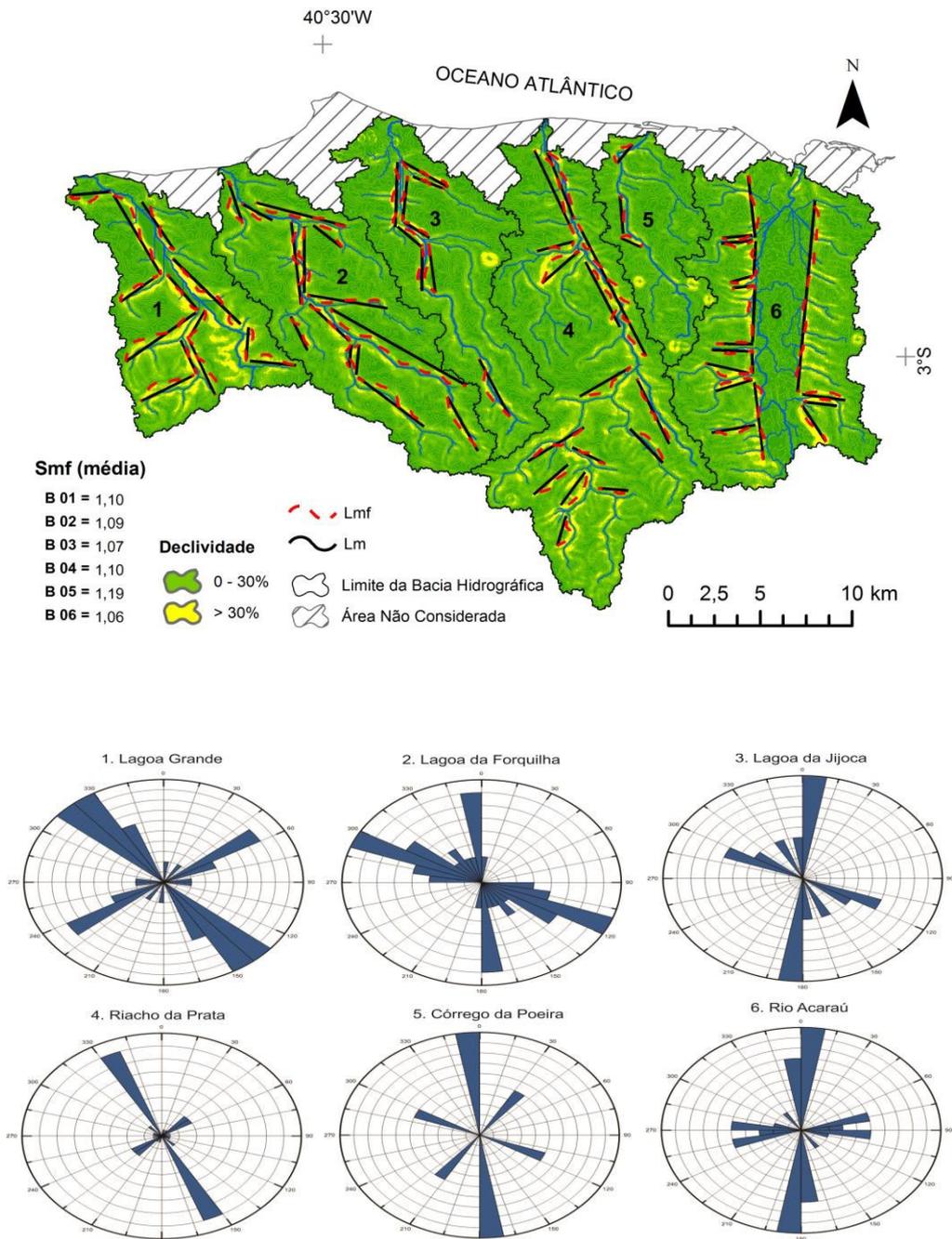
Tabela 3 - Síntese dos resultados obtidos para o índice Sinuosidade de vertente de vale ( $S_{vv}$ )

Sub-bacia	Nº total de vertentes	$S_{vv}$ mínimo	$S_{vv}$ máximo	$S_{vv}$ definido para a sub-bacia (média)	Cit
(1)Lagoa Grande	13	1,04	1,23	1,10	2
(2)Lagoa de Forquilha	14	1,03	1,15	1,09	1
(3)Lagoa da Jijoca	9	1,04	1,09	1,07	1
(4) Riacho da Prata	15	1,04	1,22	1,10	2
(5) Córrego da Poeira	3	1,03	1,20	1,19	2
(6) Rio Acaraú	18	1,01	1,13	1,06	1
(7) Rio Zumbi	4	1,03	1,33	1,13	2
(8) Rio Aracatimirim	28	1,01	1,15	1,07	1
(9) Rio Aracatiaçú	14	1,03	1,15	1,08	1
(10) Rio Cruxati	18	1,04	1,34	1,13	2
(11) Rio Mundaú	31	1,02	1,17	1,09	1
(12) Rio Trairí	22	1,02	1,23	1,08	1

Fonte: elaborado pela autora. Localização das sub-bacias nas figuras 12 e 13.

O quadro do índice  $S_{vv}$  mostra uma variação de 1,01 à 1,34. No entanto foram detectados valores mínimos nas sub-bacias (6) Rio Acaraú e (8) Rio Aracatimirim e valor máximo na sub-bacia (10) Rio Cruxati. Dentre os valores encontrados, é possível notar que a sub-bacia (11) Rio Mundaú apresentou um maior número, com 31 vertentes retilíneas de relevo e em contrapartida a sub-bacia (5) Córrego da Poeira, a menor com apenas 3 vertentes. Levando em consideração o valor médio calculado para cada sub-bacia temos índices que indicam valores entre 1,06 para o (6) Rio Acaraú à 1,19 do (5) Córrego da Poeira (Figura 12 e 13).

Figura 12 – Representação das vertentes para cálculo de  $S_{VV}$  definidas para as sub-bacias de 1 a 6, com seu respectivo valor médio e diagrama de roseta com as direções principais

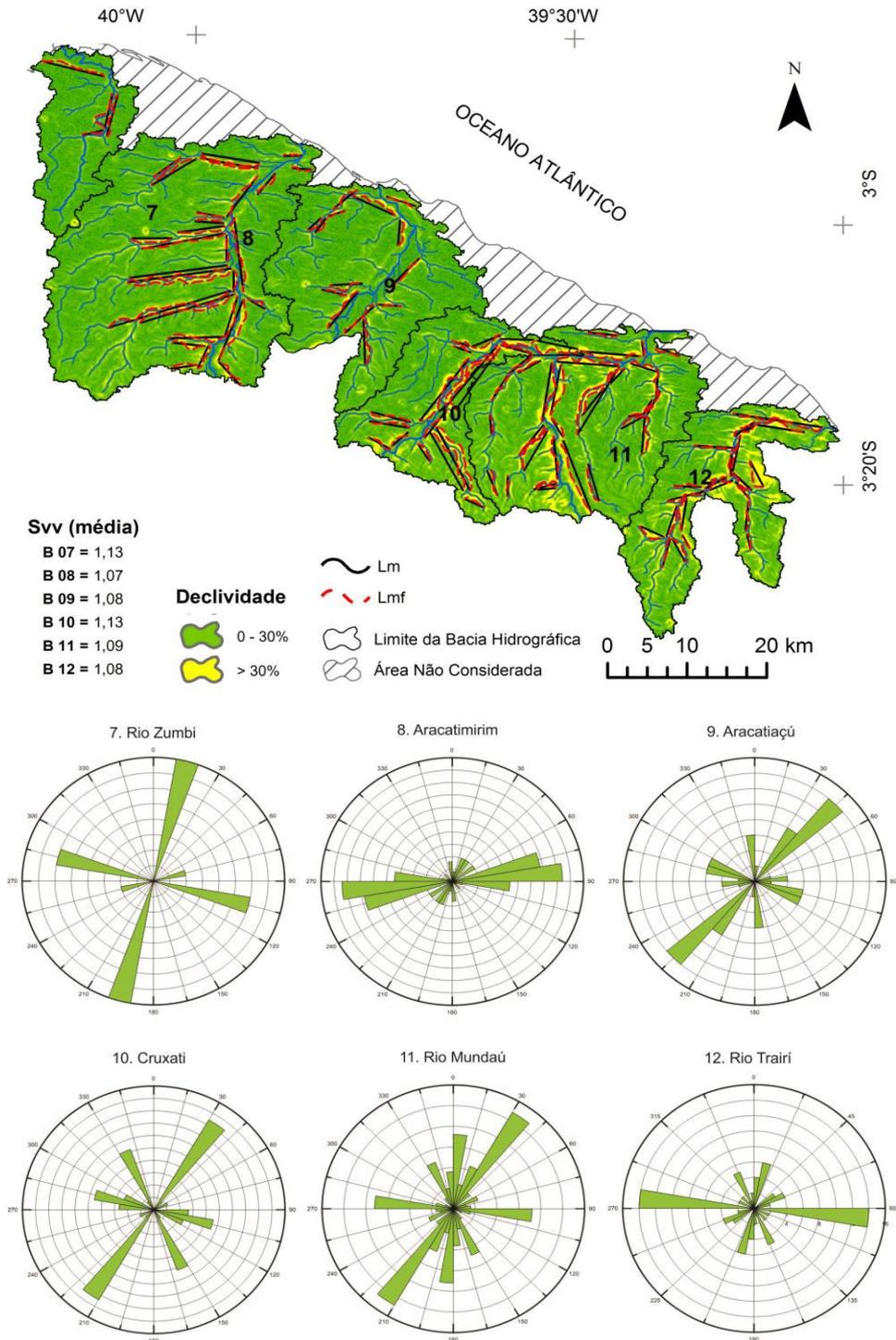


Fonte: elaborado pela autora.

A sub-bacia (1) Lagoa grande mostra direções preferenciais para NW-SE, NE-SW e E-W, nessa ordem. Na Lagoa da Forquilha (2) e Lagoa da Jijoca (3) é evidenciado direções NW-SE e N-S preferencialmente. Os trechos do Riacho da Prata (4) e Córrego da Poeira (5)

estão direcionados para NE-SW e NW-SE, o primeiro adicionalmente com direção N-S. O rio Acaraú claramente apresenta três direções: E-W, N-S e, subordinadamente, NW-SE.

Figura 13 – Representação das vertentes para cálculo de *S<sub>vv</sub>* definidos para as sub-bacias de 7 a 12, com seu respectivo valor médio e diagrama de roseta com as direções principais



Fonte: elaborado pela autora.

Nas sub-bacias (7) Rio Zumbi e (8) Rio Aracatimirim os segmentos orientam-se E-W e N-S, ainda no segundo uma frequência maior na direção NE-SW. A sub-bacia (9) Rio Aracatiaçú aponta direções NE-SW, NW-SE, N-S e E-W. A roseta do Rio Cruxati (10) indica lineamentos NW-SE, NE-SW e E-W. O Rio Mundaú (11) exhibe preferentemente NE-SW, N-S e E-W. Para o Rio Trairí (12) a roseta reflete orientação principal N-S, E-W, NW-SE e NE-SW.

No *Cit*, os números obtidos entre 1,1 e 1,5 enquadram-se na categoria 2 de intensidade moderada, ou seja, 41,7% da área apresenta vertentes menos sinuosas representadas pelas sub-bacias (1) Lagoa Grande, (4) Riacho da Prata, (5) Córrego da Poeira, (7) Rio Zumbi e (10) Rio Cruxati. Já os 58,3% restantes, com resultado menor que 1,1, incluem as sub-bacias (2) Lagoa da Forquilha, (3) Lagoa da Jijoca, (6) Rio Acaraú, (8) Rio Aracatimirim (9) Rio Aracatiaçú, (11) Rio Mundaú e (12) Rio Trairí mostrando indicativos de forte retilinearidade e recebendo a classificação *Cit* 1 (alta intensidade). Não foram encontrados valores correspondentes à categoria 3.

O índice de atividade tectônica relativa (*Iat*), obtido através da conversão dos resultados dos índices geomorficos *RDE*, *Af*, *Hi* e *Svv*, em categorias de intensidade tectônica (*Cit*), é expresso na tabela 4.

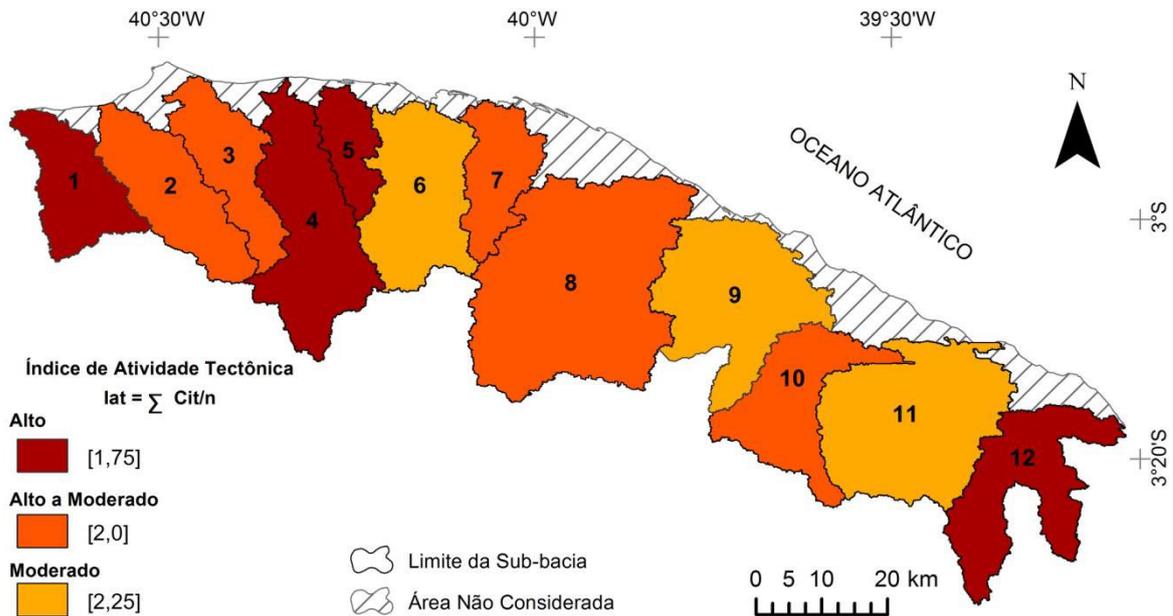
Tabela 4 - Classificação do Índice de Atividade Tectônica (*Iat*) definidas para as sub-bacias da área pesquisada

<b>Sub-bacia</b>	<b>RDE</b>	<b>Af</b>	<b>Hi</b>	<b>Svv</b>	<b>∑ Cit/n</b>
Lagoa Grande (1)	2	1	2	2	1,75
Lagoa de Forquilha (2)	2	3	2	1	2
Lagoa da Jijoca (3)	2	2	3	1	2
Riacho da Prata (4)	2	1	2	2	1,75
Córrego da Poeira (5)	2	2	1	2	1,75
Rio Acaraú (6)	2	3	3	1	2,25
Rio Zumbi (7)	2	2	2	2	2
Rio Aracatimirim (8)	3	1	3	1	2
Rio Aracatiaçú (9)	2	3	3	1	2,25
Rio Cruxati (10)	2	2	2	2	2
Rio Mundaú (11)	2	3	3	1	2,25
Rio Trairí (12)	2	2	2	1	1,75

Fonte: elaborado pela autora.

Constatou-se, a partir dos valores obtidos do *Iat*, que 50% das sub-bacias analisadas, correspondentes a 2249,37 km<sup>2</sup> da área, apresentaram indicações de atividade tectônica alta a moderada (2,0). As sub-bacias com valores resultantes de 1,75 como: (1) Lagoa Grande, (4) Riacho da Prata, (5) Córrego da Poeira e (12) Rio Trairí evidenciaram alta atividade tectônica. Apenas as sub-bacias (6) Rio Acaraú, (9) Rio Aracatiaçú e (11) Rio Mundaú representando 1426,23 km<sup>2</sup> da área total se enquadraram na categoria de atividade tectônica moderada com o valor de 2,25.

Figura 14 – Mapa Índice de Atividade Tectônica, onde a classe de intensidade é representada em cada sub-bacia da área. Identificação das sub-bacias na Tabela 4



Fonte: elaborado pela autora.

## DISCUSSÕES

A área foi escolhida de forma a possibilitar a detecção de contrastes entre a zona imediatamente próxima à possível continuidade do LTB sob a cobertura da Formação Barreiras e zonas mais distantes, onde essa influência é atenuada ou não existe (Figura 1). No entanto, a área se mostrou como uma região de excelência para o estudo proposto, embora esteja em um contexto tectônico de margem passiva.

Com base nos resultados obtidos na área estudada, foi possível identificar dois setores denominados por Domínio Camocim (sub-bacias 1 a 6) e Domínio Trairí (sub-bacias 7 a 12), balizados pelo divisor leste da sub-bacia do Rio Zumbi que se distinguem em seu comportamento, bem como apresentam diferentes controles na rede de drenagem, com orientações dos rios principais divergentes para NW-SE a oeste do Rio Zumbi e NE-SW a leste (Figura 13).

Os resultados alcançados apontaram novas evidências possibilitando uma melhor compreensão sobre a evolução tectônica do litoral oeste do estado do Ceará durante o

Cenozóico. A aplicação dos índices morfométricos permitiu um melhor entendimento da influência tectônica da área identificando as porções sujeitas a deformações.

Os índices morfométricos individuais extraídos do MDE-SRTM revelaram, em geral, terrenos com fortes indicativos de influência tectônica. No entanto, cada índice apresentou sensibilidade distinta.

Em relação ao índice *RDE*, de modo geral, os valores detectados mostraram que há uma tendência de diminuição das anomalias no sentido da foz. Os segmentos anômalos estão dispostos principalmente no alto e médio curso dos rios. Eliminando o contraste litológico como causa dos valores elevados, pressupõe-se a influência tectônica. Entretanto, por seu caráter pontual, os trechos com *RDE* anômalo são difíceis de serem interpretados sem averiguação *in loco* para maior detalhamento.

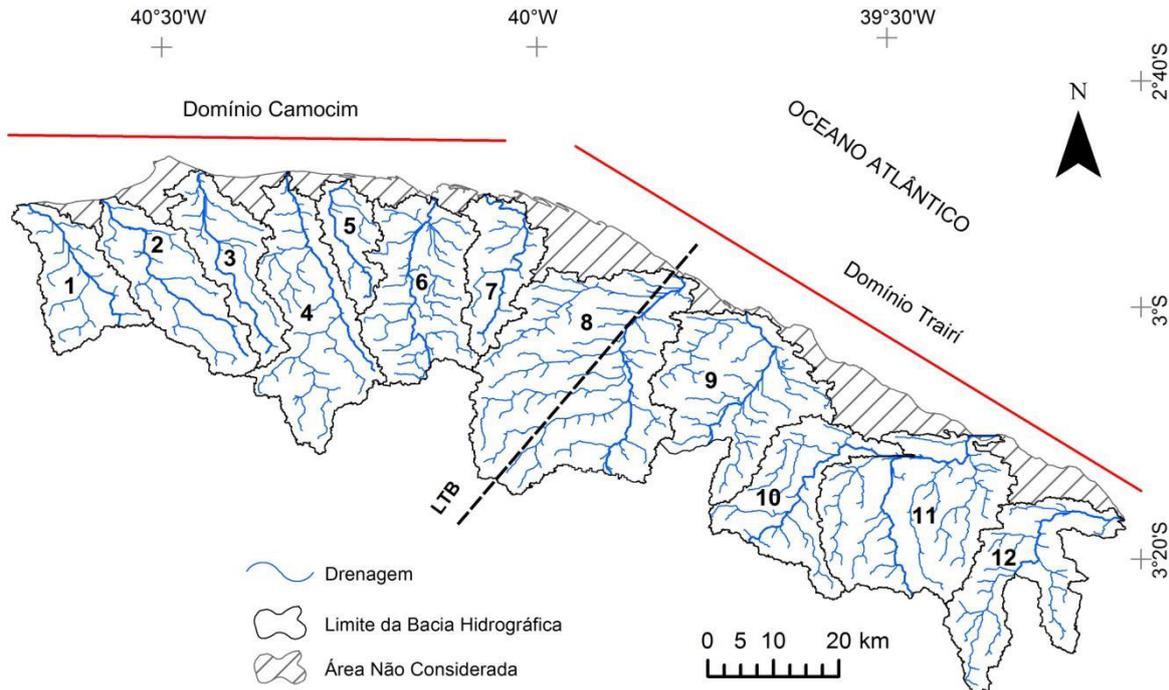
Outro aspecto a ser apontado está no índice *Af*, no qual as sub-bacias apontam uma heterogeneidade com relação a sua intensidade de atividade tectônica, evidenciando migração lateral em todas as sub-bacias com exceção da Lagoa da Forquilha (2), Rio Acaraú (6), Rio Aracatiaçu (9) e Rio Mundaú (11). Como não existe uma estruturação notoriamente acamadada relacionada aos depósitos da Formação Barreiras que compõem seu substrato, as assimetrias podem ser interpretadas como fruto de basculamentos com eixo subparalelo aos rios principais, especialmente em torno do baixo curso do rio Acaraú. Do Rio Zumbi para oeste, as assimetrias das sub-bacias se organizam em alternância que pode indicar associação de um anticlinal com eixo N-S (Córrego da Poeira-Rio Acaraú-Rio Zumbi) e um sinclinal com eixo NNW-SSE (Lagoa Grande-Lagoa da Forquilha-Lagoa de Jijoca), separados por um bloco com basculamento para ENE (Riacho da Prata). Esse último pode também representar o flanco de um sinforme adjacente ao antiforme Poeira-Acaraú-Zumbi. Do Rio Zumbi para leste, a estruturação parece alternar blocos basculados para E com blocos pouco ou não basculados, separados por descontinuidades (falhas?) NE-SW e E-W, estas últimas junto à faixa litorânea. Entretanto, deve-se levar em conta que os campos de dunas litorâneas com migração predominante de E para W (TSOAR *et al.*, 2009) podem ter controlado divisores na mesma direção.

Na área, os valores de *Hi* expressam uma variação de 0,35 a 0,50 entre as 12 sub-bacias. Essa variação indica um grau intermediário de incisão de vales, coerente com a relativa juventude da superfície de aplainamento no topo dos tabuleiros (SILVA FILHO *et al.*, 2009). As diferenças estão relacionadas a diferentes magnitudes de soergimento relativo. Mas uma vez, o divisor leste da sub-bacia Rio Zumbi separa dois setores, um a oeste, com predominância de blocos com relevo relativamente mais jovem/soerguido e outro a leste, com

relevo mais maduro/menos soerguido.

O índice *Smf* reflete um equilíbrio entre a tendência de fluxos e processos de inclinação para produzir uma frente de montanha irregular (sinuoso) e verticais tectônicas ativas, que tendem a produzir uma frente proeminente em linha reta (BULL; MCFADDEN, 1977). Nesse caso de estudo, tal índice foi tratado para as vertentes de vale e mediu o grau de retilinearidade dos vales. Excluindo-se efeitos de declives relativamente elevados, que poderiam gerar padrões paralelos menos sinuosos, o controle dos segmentos retilíneos no topo aplainado dos tabuleiros pré-litorâneos deve ser atribuído ao controle por fraturas. Mais uma vez, há clara repartição na configuração dos domínios morfométricos. A oeste da sub-bacia do Rio Zumbi, predominam lineamentos NW-SE, N-S e E-W, em claro desacordo com a fábrica tectônica do embasamento, direcionada preferencialmente para NE (TORQUATO; NOGUEIRA NETO, 1996). No setor a leste, direções preferenciais NE-SW e E-W são predominantes. Nesse caso, a fábrica NE-SW do embasamento através das várias falhas que conformam a terminação NE do LTB (DESTRO *et al.*, 1994) e a possível influência da fábrica transformante que moldou o Atlântico Equatorial (GORINI; BRYAN, 1976) são determinantes da estruturação.

Figura 15 – Representação dos Domínios Camocim e Trairí



Fonte: elaborado pela autora.

No Domínio Camocim predominam lineamentos NW-SE, N-S e E-W e a deformação neotectônica foi resultado da aplicação de um campo com esforço máximo horizontal NW-SE sub-perpendicular à fábrica NE-SW do embasamento pré-cambriano/eopaleozóico (OLIVEIRA, 2015). Como o valor teórico ótimo do ângulo de incidência do esforço máximo horizontal para reativação de fraturas superficiais é em torno de 26,5° (SIBSON, 1985), foram geradas novas estruturas em detrimento da reativação das antigas.

No domínio Trairí, o panorama muda de figura, embora a orientação do esforço máximo horizontal deva ser a mesma. Como há uma componente extensional NE-SW identificada no mecanismo focal do sismo de Santana do Acaraú (Oliveira, 2015), a própria fábrica do domínio propicia o estiramento para NE nessa porção da margem equatorial, com as falhas NE-SW funcionando como zonas de transferência transcorrentes (paralelas ao eixo de estiramento) e as E-W funcionando como falhas normais obliquas. Os maiores contrastes de relevo estariam associados aos movimentos verticais relacionados às discontinuidades E-W, explicando porque as sub-bacias Aracatimirim (8), Cruxati (10) e Trairí (12) apresentam os maiores índices de atividade tectônica do domínio.

## 4 CONCLUSÕES

Em síntese, o presente trabalho procurou analisar quantitativamente a costa oeste do Ceará, região adjacente ao Lineamento Transbrasiliano partindo da aplicação dos índices geomorfométricos a fim de averiguar a influência da tectônica ativa.

A análise morfotectônica realizada com o apoio das técnicas de geoprocessamento e aplicação dos índices morfométricos: relação declividade extensão (*RDE*), fator assimétrico (*Af*), sinuosidade de vertente de vale (*S<sub>v</sub>v*) e integral hipsométrica (*Hi*) que permitem através do *Cit* inferir a Intensidade tectônica se mostrou bastante eficaz na detecção de área sujeitas à deformação neotectônica.

No que diz respeito aos resultados obtidos constatou-se que o *RDE* apresentou dentre os 187 trechos analisados 63 deles estão relacionados com anomalias perfazendo 34% do total, em diferentes intensidades, excluindo apenas a sub-bacia 8 não anômala. O *Af*, revelou valores entre o mínimo de 0,07 e máximo de 35,88, sinalizando condições assimétricas com tendências de basculamento tanto para margem direita, quanto para margem esquerda das sub-bacias. Os valores de *Hi* não variaram muito para a região em questão, assumindo valores de 0,35 a máxima de 0,50. Nesse caso de estudo, o índice sinuosidade de frente de montanha (*Smf*) foi adaptado para as vertentes de vale (*S<sub>v</sub>v*) o qual não foi muito discriminante. A partir dos valores obtidos do *Iat* as sub-bacias apresentaram intensidade tectônica alta, alta a moderada e moderada.

Sendo assim, pode-se dizer que a aferição dessas anomalias possibilitou a distinção da região estudada em dois domínios distinto (Camocim e Trairí) onde a atuação da neotectônica através de mecanismos controladores do relevo se faz presente em diferentes graus de anomalias fluviais.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: an introduction. **Earth Science Review**, [s.l.], v. 17, p. 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth Science Review**, [s.l.], v. 5, p. 77-111, 2000.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. FUCK, R. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977. Campina Grande, 1977. **Atas** [...]. Recife: SBG, 1977, p. 363-391.
- ANDRADES FILHO, C. O.; ROSSETTI, D. F. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v.42, n. 2, p. 113-130, 2015.
- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, série científica, 2006.
- ARAÚJO, C. E. G.; RUBATTO, D.; HERMANN, J.; CORDANI, U. G.; CABY, R.; BASEI, M. A. S. Ediacaran 2,500-km-long synchronous deep continental subduction in the West Gondwana Orogen. **Nature Communications**, [s.l.], v. 5, p. 5198, 2014.
- ASSUMPÇÃO, M. The regional intraplate stress field in South America. **J. geophys. Res.**, v. 97, n. B8, p. 11889-11903, 1992.
- BARROS, L.V. *et al.* The Mara Rosa 2010 GT-5 earthquake and its possible relationship with the continental-scale Transbrasiliano Lineament. **Journal of South America Earth Sciences**, [s.l.], v.60, p.1-9, 2015.
- BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C. M.; ORTEGA R.; FRANC, A. H.; VELOSO, J. A.V. **Sismicidade do Brasil**. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas: Universidade de São Paulo, 1984.
- BEZERRA, F. H. R.; MELLO, C. L.; SUGUIO, K. Apresentação: a Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões. **Geologia USP**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 3-6, série científica, 2006.
- BEZERRA, F. H. R.; NASCIMENTO, A. F. do.; FERREIRA, J. M.; NOGUEIRA, F.C.; FUCK, R.A.; BRITO NEVES, B. B.; SOUSA, M. O. L. Review of active faults in the Borborema Province, intraplate South America - integration of seismological and paleoseismological data. **Tectonophysics**, [s.l.], v. 510, p. 269–290, 2011.
- BEZERRA, F.H.R.; VITA-FINZI, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. **Geology**, London, v. 28, n.7, p.591-594, 2000.
- BULL, W. B.; MC FADDEN, L. D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. *In*: GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM, 8., 1977, Binghamton. **Anais** [...], Binghamton: IAG, 1977. v. 1, p. 118-138.

BULL, W. B.; WALLACE, R. E. Tectonic geomorphology. **Geology**, Penrose, v. 13, n. 3, p. 2016, mar. 1985.

CACAMA, M. S. J. B. *et al.* Assinatura estrutural e geofísica da Porção Norte (fronteira Ceará- Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: reativação na Bacia do Parnaíba. **Geologia USP**, São Paulo, v. 15, n. 3-4, p. 67-81, série científica, dez. 2015.

CAVALCANTE, J. C.; VASCONCELOS, A. M.; MEDEIROS, M. F.; PAIVA GOMES, F. E. M.; CAVALCANTE, S. N.; CAVALCANTE, J. E.; MELO, A. C. R.; DUARTE NETO, V. C.; BENEVIDES, H. C., **Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000**. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2003.

CHAMANI, M.A.C. **Tectonica Intraplaca e Deformação Sinsedimentar Induzida por Abalos Sísmicos**: o Lineamento Transbrasiliano e Estruturas Relacionadas na Província Parnaíba, Brasil. São Paulo, 2011, 206 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CORDANI, U. G.; PIMENTEL, M. M.; ARAÚJO, C. E. G. D.; FUCK, R. A. The significance of the Transbrasiliano-Kandi tectonic corridor for the amalgamation of west Gondwana. **Brazilian Journal of Geology**, [s.l.], v. 43, p. 583–597, 2013.

CORDANI, U. G.; SATO, K. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. **Episodes**, [s.l.], v.22, n. 3, p. 167-173, 1999.

CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal evolution of the South American Platform. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (ed.). **Tectonic Evolution of South América**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000, p. 19-40.

COSTA JÚNIOR, M. P. **Interações morfo-pedogenéticas nos sedimentos do Grupo Barreiras e nos leques aluviais pleistocênicos no litoral norte da Bahia – município de Conde**. 247f. 2008. Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

COSTA, M. J.; FRANÇA, J. B.; LINS, C. A. C.; BACCHIEGGA, I. F.; HABEKOST, C. R.; CRUZ, W. B. **Geologia da Bacia do Jaibaras, Ceará, Piauí, Maranhão**. Brasília: MME/DNPM, 1973.

COX, R. T. Analysis of Drainage-Basin Symmetry as a Rapid Techique to Identify Areas of Possible Quaternary Tilt Block Tectonics: as Example from the Mississippi Emayment. **Geological Society of América Bulletin**, [s.l.], n. 106, p. 571-581, 1994.

CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003.

DESTRO, N; SZATMARI, P.; LADEIRA, E.A. Post-Devonian transpression and reactivation of a Proterozoic ductile and shear zone in Ceará, NE Brazil. **Journal of Structural Geology**, London, v. 16, n. 1, p. 35-45, 1994.

EI HAMDOUNI, R., IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER.

Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). **Geomorphology**, [s.l.], v. 96, n. 1-2, p. 150- 173, 2008.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G. C.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Revista de Geociências USP**, São Paulo, v 25, p. 271-289, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista**: implicações estratigráficas e tectônicas. Rio Claro, 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

FENG, M.; ASSUMPCÃO, M.; VAN DER LEE, S. Group-velocity tomography and lithospheric S-velocity structure of the South American continent. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, [s.l.], v. 147, p. 315-331, 2004.

FERREIRA, J.M. *et al.* Superposition of local and regional stress in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. **Geophysics Journal International**, London, v. 134, p. 341-355, 1998.

FERREIRA, J.M.; ASSUMPCÃO, M. Sismicidade do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, RJ, v. 1, p. 67–88, 1983.

FERREIRA, M. F. M. **Geomorfologia e análise morfotectônica do alto vale do Sapucaí**. 2001. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

FRANÇA, G. S.; FERREIRA, J. M.; TAKEYA, M. K. Seismic activity in Senador Sá. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, RJ, v. 22, n. 2, p. 115-125, 2004.

GORINI, M. A.; BRYAN, G. M. The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 48, p.101-121, suplemento, 1976.

HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research of the U. S. Geological Survey**, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 421-429. 1973.

HORTON, R.E. Erosional development of stream and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of Geological Society of American**, Bolder, v. 56, p. 275-368, 1945.

KELLER, E. A.; PINTER, N. **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

KELLER, E. A.; PINTER, N. **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape**. 2 th ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002.

LIMA NETO, H. C.; FERREIRA, J. M.; BEZERRA, F. H. R.; ASSUMPCÃO, M.; NASCIMENTO, A. F. do; SOUZA, M. O. L.; MENEZES, E. A. S. Upper crustal earthquake

swarms in São Caetano: Reactivation of the Pernambuco shear zone and trending branches in intraplate Brazil. **Tectonophysics**, [s.l.], v. 633, p. 211-220, 2013.

LIMA NETO, H. C.; FERREIRA, J. M.; BEZERRA, F. H. R.; ASSUMPÇÃO, M.; NASCIMENTO, A. F. do; SOUZA, M. O. L.; MENEZES, E. A. S. Earthquake sequences in the southern block of the Pernambuco Lineament, NE Brazil: Stress Field and seismotectonic implications. **Tectonophysics**, [s.l.], v. 608, p. 804-811, 2014.

LINSLEY JUNIOR, R.K. *et al.* **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1949.

LOPES, A. E. V.; ASSUMPÇÃO, M.; NASCIMENTO, A.F. do, FERREIRA, J. M.; MENEZES, E. A. S.; BARBOSA, J. R. Intraplate earthquake swarm in Belo Jardim, NE Brazil: reactivation of a major Neoproterozoic shear zone (Pernambuco Lineament). **Geophys. J. Int.**[s.l.], v. 180, p. 1303-1312, 2010.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS E.,; SILVA, A.; BEURLLEN, K. Estratigrafia e origem do grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociência**, São Paulo, v.2, p. 173-190, 1972.

MABESSONE, J. M. História Geológica da Província Borborema (NE Brasil). **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 15, p. 119-129, 2002.

MATOS, R.M.D. The Northeast Brazilian Rift System. **Tectonics**, Washington, v. 11, n 4, p. 766-791, 1992.

MORAIS NETO, J. M.; HEGARTY, K. A.; KARNER, G. D.; ALKMIM, F. F. Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, [s.l.], v. 26, p. 1070 – 1086, 2009.

MOURA, A.C.A. *et al.* Seismogenic faulting in the Meruoca granite, NE Brazil, consistent with a local weak fracture zone. **Anais da Academia Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 4, p. 1631-1639, dez. 2014.

OLIVEIRA, P. H. R. **Sismicidade e esforços tectônicos na Zona Sísmica Acaraú, Nordeste do Brasil**. 2015. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

PÉREZ-PENÁ, J. V.; AZANÓN, J. M.; AZOR, A. CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. **Computers & Geosciences**, [s.l.], v. 35, p. 1214–1223, 2009.

PADILHA, A. L.; VITORELLO, I.; PÁDUA, M. B.; FUCK, R. A. Cryptic signature of Neoproterozoic accretionary events in northeast Brazil imaged magnetotellurics: implications for the assembly of West Gondwana. **Tectonophysics**, [s.l.], v. 669, p. 164 - 177, 2017.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO-SALES, V, BETARD, F.; GUNNEL, Y. Low Cenomanian denudation depths across the Brazilian Northeast: implications for differentiated long-term landscape evolution in a transform margin. **Global and Planetary Change**, [s.l.], v. 62, p. 39-60, 2008.

RAMOS, V. A.; VUJOVICH, G.; MARTINO, R.; OTAMENDI, J. Pampia: A large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. **Journal of Geodynamics**, [s.l.], v. 50, n. 3-4, p. 243-255, 2010.

RAPELA, C. W.; PANKHURST, R. J.; CASQUET, C.; FANNING, C. M.; BALDO, E. G.; GONZÁLEZ-CASADO, J. M.; GALINDO, C.; DAHLQUIST, J. The Río de La Plata craton and the assembly of SW Gondwana. **Earth-Science Reviews**, [s.l.], v. 83, p. 49-82, 2007.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHUMS, W. R.; OLIVEIRA, R. G.; MEDEIROS, V. C. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000, p. 5-9.

SCHOBENHAUS, C. *et al.* Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22. In.: SCHOBENHAUS, C. (coord.). **Carta Geológica do Brasil Milionésimo**. Brasília: DNPM, 1975.

SEEBER, L.; GORNITZ, V. River Profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 92, p. 335 – 367, 1983.

SIBSON, R. H. Short notes: A note on fault reactivation. **Journal of Struct Geology**, [s.l.], v. 7, n. 6, p. 751-754, 1985.

SILVA FILHO, W. F. **Domínios morfoestruturais da plataforma continental do Estado do Ceará**. 2004. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SILVA FILHO, W. F.; CASTRO, D. L.; CORRÊA, I. C. S.; FREIRE, G. S. S. Estruturas rasas na margem equatorial ao largo do nordeste brasileiro, Estado do Ceará: Análise de relevo e anomalias gravimétricas residuais. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 65-77, 2007.

SILVA FILHO, W. F.; GARCIA, M. G. M.; PARENTE, C. V. **As Morfoestruturas do Lineamento Transbrasiliano no Noroeste do Ceará: Controle Geotectônico, Depósitos Minerais e Atividade Sísmica**. [S.l.: s.n.], 2009.

STRAHLER, A. N. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, [s.l.], v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952

TORQUATO, J. R.; NOGUEIRA NETO, J. A. Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreá. Fortaleza. **Revista Brasileira de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 303-314, 1996.

TROMPETTE, I. R. **Geology of Western Gondwana (2000-500) Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa**. Rotterdam: Brookfield, 1994.

ZÁLAN, P. V.; WARNE, J. E. **Tectonics and sedimentation of the Piauí-Camocim Sub-basins, Ceará Basin, Offshore Northeastern Brazil**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1985.

## **APÊNDICE A – AGRADECIMENTOS DO ARTIGO**

À CAPES, pelo financiamento da bolsa de mestrado, a Universidade Federal do Ceará, em especial ao Departamento de Geologia através do Programa de Pós-graduação em Geologia por me proporcionar a convivência com grandes profissionais além do grande aprendizado em mais uma etapa da minha vida. Agradecimentos também aos professores que colaboraram para o enriquecimento dessa pesquisa.