



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

**THIAGO RODRIGUES SOUSA LIMA**

**DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DOS SERTÕES NO BAIXO JAGUARIBE,**  
**CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2022**

THIAGO RODRIGUES SOUSA LIMA

DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DOS SERTÕES NO BAIXO JAGUARIBE, CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia  
Área de concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial.

Orientador: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

FORTALEZA

2022

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)

---

- L711d Lima, Thiago Rodrigues Sousa.  
Dinâmica geomorfológica dos sertões no Baixo Jaguaribe, Ceará / Thiago Rodrigues Sousa Lima. – 2022.  
83 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.
1. Evolução geomorfológica. 2. Chapada do Apodi. 3. Vale do Jaguaribe. 4. Paisagens graníticas. I. Título.  
CDD 910
-

THIAGO RODRIGUES SOUSA LIMA

DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DOS SERTÕES NO BAIXO JAGUARIBE, CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia  
Área de concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial.

Aprovada em: 09/03/2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra<sup>a</sup>. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Marcos José Nogueira de Souza  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Sônia e Tônico.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares em especial, meus pais, Sônia e Tônico, sou grato por todo o apoio. Aos avós, Betânia, Antônio; Luzia e Joaquim (*in memoriam*), pela perseverança e amor dedicados. Aos irmãos, Hiago e Hiara pela parceria nessa caminhada. Aos meus amados tias e tios, Aliete, Paulo, De Assis, Élcio e Neidinha, pelo companheirismo. A Vitória por todo o carinho. Aos meus amigos Diego, Valter, Jonas e Sávio pelos momentos de descontração e incentivo. Ao Eduardo Graciliano, por todo apoio, auxílio e disponibilidade em diversas atividades de campo, saiba amigo, que essa é sua dissertação também. Ao Prof. Dr. Marcos Melo pela amizade e instiga profissional. Aos amigos da turma 2014.2 da Geografia-UFC, em especial ao grupo Virados, pela amizade e consideração.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP), pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio e importante prorrogação durante a pandemia da Covid-19.

Ao Governo do estado do Ceará pelo sustentáculo e incentivo aos programas de apoio estudantil e científico.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de engrandecimento pessoal e acadêmico. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia na Universidade Federal do Ceará, ao corpo docente e em especial aos secretários, Erandir Canafistula e Edilene de Souza.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) da Geografia – UFC, pelos preciosos ensinamentos e valiosas amizades durante a etapa da graduação, que refletiram nesse momento de pós-graduação e seguirá para o restante da caminhada pessoal e acadêmica.

A minha orientadora Prof<sup>ra</sup>. Dra<sup>a</sup>. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira pelo exemplo, disponibilidade e orientação.

Aos colegas da turma de mestrado 2019.2, pelas vitórias e conquistas durante o crítico período de pandemia e o desgoverno.

Ao Prof. Dr. Jader Santos de Oliveira pela amizade, por todo o ensino, oportunidades e contribuições nas etapas de campo e construção teórica do trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos Nogueira pelas contribuições a etapa de qualificação, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Prof. Dr. Daniel Dantas pelo auxílio no levantamento das imagens aéreas.

A elevação de um continente do fundo do mar é uma ideia grande demais para ser concebida facilmente em todas as partes de sua operação, muitas das quais talvez sejam desconhecidas para nós; e sem ser propriamente compreendida, uma ideia tão grande pode parecer imaginária. Da mesma forma, a operação correlativa ou correspondente, a destruição da terra, é uma ideia que não entra facilmente na mente humana em sua totalidade, apesar de diariamente ele testemunhar parte da operação (HUTTON, 1788, p. 295).

## RESUMO

O vale do Rio Jaguaribe no estado do Ceará se configura por uma área de extrema relevância ao estudo das geociências. Com uma paisagem típica dos sertões do semiárido nordestino e caracterizado pela planície fluvial do maior rio do estado, seu baixo curso margeia a Chapada (Planalto) do Apodi, onde entre ambos o embasamento pré-cambriano aflora exibindo feições graníticas, constituem um cenário complexo e dinâmico com importantes formas de relevo. Essas unidades constituem um cenário com produtos decorrentes da evolução da margem atlântica do continente sul-americano. Através de análises com vieses morfoestruturais, morfoesculturais e morfoevolutivas, o presente trabalho contém uma proposta de evolução geomorfológica com base nas evidências coletadas em campo, observando as formas de relevos e seus processos integrados na paisagem. A partir das imagens alos pular (12,5m), foram utilizadas técnicas de composição do Modelo Digital de Elevação (MDE) no software global mapper 17v, que permitiram a identificação e categorização dos componentes da paisagem, que atrelados aos levantamentos e a verificação em atividades de campo resultaram em um compilado de informações sobre a migração dos canais no baixo curso do Jaguaribe, evidências do recuo lateral da escarpa da Chapada do Apodi e a caracterização de paisagens graníticas nos afloramentos intercalados na paisagem.

**Palavras-chave:** geomorfologia; chapada do Apodi; vale do Jaguaribe; paisagens graníticas.

## ABSTRACT

The Jaguaribe River valley in the state of Ceará is an area of extreme relevance to the study of geosciences. With a typical landscape of the northeastern semi-arid backlands and characterized by the fluvial plain of the largest river in the state, its low course borders the Chapada (highland) do Apodi, where between both the Precambrian basement outcrops showing granitic features, constituting a complex and dynamic with important landforms. These units constitute a scenario with products resulting from the evolution of the Atlantic margin of the South American continent. Through analyzes with morphostructural, morphosculptural and morphoevolutionary biases, the present work contains a proposal of geomorphological evolution based on evidence collected in the field, observing the forms of reliefs and their processes integrated in the landscape. From the alos palsar images (12.5m), composition techniques of the Digital Elevation Model (DEM) were used in the global mapper 17v software, which allowed the identification and categorization of the landscape components, which, linked to the surveys and the verification in Field activities resulted in a compilation of information on the migration of channels in the lower course of the Jaguaribe, evidence of the lateral retreat of the Chapada do Apodi escarpment and the characterization of granitic landscapes in the outcrops interspersed in the landscape.

**Keywords:** geomorphology; highland Apodi; Jaguaribe valley; granitic landscapes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultados do processamento no software Global Mapper 17 .....	28
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo .....	30
Figura 3 – Arenitos da formação Açú (E) na margem esquerda do Rio Quixeré (C) evidenciando na paisagem a interação entre as duas unidades. Na margem direita acúmulo de sedimentos fluviais (D), ao fundo os inselbergs (B) e a Chapada do Apodi (A) .....	32
Figura 4 – Mapa de geologia da área de estudo .....	34
Figura 5 – Planície fluvial do Rio Jaguaribe, em evidência o Rio Quixeré .....	36
Figura 6 – Arenito da formação Açú sotoposto ao Calcário da formação Jandaíra evidenciados na escarpa da Chapada do Apodi, na localidade de Santa Terezinha, município de Quixeré - CE .....	38
Figura 7 – Contato entre a Chapada do Apodi (A) e os inselbergs (B). Notar a ruptura topográfica que distingue o platô sedimentar das feições graníticas .....	39
Figura 8 – Relevos graníticos com vegetação rupícola entre a Chapada do Apodi e a Planície do Rio Jaguaribe .....	41
Figura 9 – Declividade da área de estudo .....	44
Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo .....	46
Figura 11 – Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo .....	48
Figura 12 – Identificação de feições geomorfológicas pelo processamento do MDT .....	52
Figura 13 – Bloco diagrama da área de estudo .....	54
Figura 14 – Perfis topográficos analisados .....	55
Figura 15 – Perfil 1 – Planície fluvial, inselberg Quixeré e escarpa da Chapada do Apodi .....	55
Figura 16 – Carnaubal e vegetação arbustiva próximo aos afloramentos graníticos no trecho entre o rio Quixeré e os inselbergs .....	56
Figura 17 – Perfil 2 – As cotas indicam o relevo granítico como obstáculo aos	

sedimentos oriundos do recuo lateral da escarpa da Chapada do Apodi .....	57
Figura 18 – Drenagem obsequente dissecando os relevos graníticos rumo a planície fluvial do Rio Jaguaribe. Observar a formação de caos de blocos nas encostas dos inselbergs, configurando a morfologia de grus .....	58
Figura 19 – Compartimentação topográfica das superfícies no trecho entre os inselbergs e a escarpa da chapada .....	58
Figura 20 – Perfil 3 – De Oeste para Leste entre os afloramentos graníticos e a escarpa do Apodi .....	59
Figura 21 – Superfície aplainada conservada no setor entre inselbergs e a chapada do Apodi. Notar o predomínio de afloramentos do arenito Açú .....	59
Figura 22 – Superfície pré-cretácica no limiar entre o Triássico/Jurássico $\cong$ 200 Ma AP	60
Figura 23 – Abertura e entulhamento do rifte potiguar por sedimentos do mar cretácico	61
Figura 24 – Encaixe da rede de drenagem iniciando o vale do Jaguaribe e dissecação do pacote sedimentar da bacia potiguar .....	61
Figura 25 – Aprofundamento do vale e constituição da escarpa da Chapada do Apodi ....	62
Figura 26 – Estágio atual como produto da interação de processos climáticos e tectônicos .....	62
Figura 27 – Afloramentos Morros. Relevos graníticos em contato com o canal fluvial ...	63
Figura 28 – Afloramentos graníticos na calha fluvial e feições saprolíticas do tipo tors sobre inselberg .....	64
Figura 29 – Relevos granitos na calha fluvial exibindo feições de <i>boulders</i> , <i>tors</i> e <i>split rock</i> .....	65
Figura 30 – Bloco diagrama da área de estudo .....	66
Figura 31 – Afloramentos graníticos em exumação próximo a escarpa da chapada do Apodi .....	67
Figura 32 – Pedra da Bandeira, no inselberg Quixeré. Relevo saprolítico de lajedos com presença do regolito, onde ocorrem boulders, tors, poligonal cracking, entre outras feições, ao fundo a escarpa do Apodi .....	68

Figura 33 – Superfície granítica com caos de blocos, grus e veios félsicos com baixa diversidade de feições oriundas da meteorização no inselberg Quixeré .....	69
Figura 34 – Poligonal cracking em ocorrência no inselberg Quixeré .....	70
Figura 35 – Boulders em processo de exumação no inselberg Quixeré .....	71
Figura 36 – Relevo saprolítico com boulders e grus, feições resultantes da esfoliação esferoidal com marcas do geovandalismo .....	71

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Materiais utilizados na coleta e composição do banco de dados e produtos cartográficos .....	24
Quadro 2 – Procedimentos operacionais para a categorização de formas no software <i>Global Mapper 17</i> , através do <i>custom shader</i> .....	27
Quadro 3 – Classes de declividade .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP	Antes do presente
CPRM	Companhia Recursos Minerais
FUNCEME	Norma Brasileira Regulamentar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
Km <sup>2</sup>	Quilometro quadrado
Ma	Milhões de anos
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
SIG	Sistema de Informação Geográfica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>A planície fluvial do Rio Jaguaribe .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>A Bacia Potiguar e a Chapada do Apodi .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>O embasamento cristalino e os relevos graníticos .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>Contexto geomorfológico .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>Gênese e evolução da área de estudo .....</b>	<b>60</b>
<b>5.2</b>	<b>Os relevos graníticos e outras feições geomorfológicas .....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO A – PROCESSAMENTO A COM FOCO NAS FEIÇÕES DA PLANÍCIE FLUVIAL .....</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO B – PROCESSAMENTO B COM FOCO NAS FEIÇÕES ENTRE A PLANÍCIE FLUVIAL E A ESCARPA DO APODI .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXO C – PROCESSAMENTO C COM FOCO NA INTEGRAÇÃO DOS RELEVOS .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO D – REDE DE DRENAGEM EXTRAÍDO DO MDT .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO E – TABELA CRONOESTRATIGRÁFICA INTERNACIONAL</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A paisagem do extremo nordeste brasileiro exhibe um relevo marcado por eventos tectônicos de magnitudes continentais. Sua gênese está intrinsecamente ligada à orogenia brasileira e a abertura do Oceano Atlântico, bem como os processos divergentes e transcorrentes que sucederam. Dessa forma, a Província Borborema dada sua privilegiada posição na América do Sul e sua característica de extenso planalto em núcleo arqueado (AB'SABER, 1998; ROSS, 1997), guarda registros capazes de remontar diversos períodos geológicos, inclusive com terrenos proterozóicos (SÁ *et al.* 1992).

Esses registros podem ser investigados através de estudos geomorfológicos, voltados na perspectiva da gênese e evolução de relevo, analisando a paisagem atual e a entendendo no presente como a chave do passado, de acordo com a teoria de James Hutton (ALMEIDA, 2000).

Para a realização desses estudos, AB'SABER (1969) recomenda uma análise dinâmica da geomorfologia com base na pesquisa de três fatores interligados: identificação de uma compartimentação morfológica dos terrenos, levantamento da estrutura superficial das paisagens; estudo da fisiologia da paisagem.

Tricart (1965) pondera que o estudo das características geomorfológicas deve ser complexo e abordar informações referentes à gênese e à natureza litológica do material de origem (dados morfogenéticos), sobre as formas, altimetrias, hipsometrias e declividades (dados morfográficos e morfométricos). Sobre tal alicerce de ideias o presente trabalho se atém, delimitando um recorte temporo-espacial.

Com base em Cohen *et al.* (2013) a história geológica pode ser dividida em dois grandes momentos: o Pré-Cambriano que inicia em 4,6 bilhões de anos e termina em 541 Ma AP, ao fim do Proterozoico. E o Fanerozoico que se inicia no Cambriano e perdura aos dias atuais.

As paisagens nordestinas estão relacionadas à elaboração de um relevo associado a remanescentes de antigas estruturas orogenéticas do neoproterozoico. Geralmente se desenvolvem em zonas de cisalhamento reativadas durante o cretáceo e o cenozoico (MOURA, 2017).

Contudo, o recorte temporal suficiente para o estudo em questão, se dá a partir da junção do Gondwana entre 650 Ma e 540 Ma, no neoproterozoico (BRITO NEVES, 1999) responsável pela formação da cadeia brasileira. A orogênese brasileira resultou na formação

de uma cadeia de montanhas do tipo himalaiana no seio da Província Borborema, incluindo os terrenos associados ao que hoje representam o Nordeste setentrional (CABY *et al.* 1995; CLAUDINO-SALES, 2016).

Essa formação foi em seguida desgastada por erosão e recessão das atividades tectônicas. Em tese, Claudino-Sales (2016), considera que as paisagens dominantes do supercontinente Gondwana, incluindo o segmento da Província Borborema, devem ter sido do tipo superfícies aplainadas, dada a prolongada aquiescência tectônica, durante a qual provavelmente não ocorrem episódios importantes de rejuvenescimento do relevo.

Após o período de aglutinação continental e tectônica, inicia-se a divisão do Gondwana, entre 200 e 180 Ma AP, na Era Jurássica (Matos, 2000). Assim, após a Orogênese Brasileira, a Província Borborema foi submetida a um longo período de calmaria tectônica (ALMEIDA, 1967), o qual durou até o Mesozoico ( $\cong$  200 Ma AP), quando iniciaram os processos responsáveis pela separação do continente Gondwana, pela formação e abertura do Oceano Atlântico, pela individualização do continente América do sul e África e pela formação da margem continental do Ceará e do Nordeste brasileiro em geral.

Nesse momento surgem as forças distensivas da fase pré-rifte, que dão origem aos lineamentos orientados no sentido NE-SW (BEZERRA *et al.* 2001). Na fase do rifte, especificamente no rifte potiguar, permitiu o avanço do mar cretácico ao continente.

Os rifts podem não evoluir completamente e a separação continental pode ser interrompida, gerando, nesse caso, estruturas geológicas do tipo “rifts abortados”, caracterizadas por áreas deprimidas que se transformam em bacias sedimentares (CLAUDINO-SALES, 2016).

Na sequência do processo de separação, houve re-orientação dos esforços de divisão continental, do que resultou o abortamento dos rifts, gerando em seus lugares 19 bacias sedimentares cretáceas – as bacias do Araripe e Apodi, além de outras menores (Matos, 2000).

As principais bacias sedimentares foram acometidas pelo processo de subsidência térmica, propiciando a deposição das coberturas do topo entre o Cenomaniano e o Campaniano (100-83.6 Ma AP), representadas pelas Formações Açú e Jandaíra na Bacia Potiguar (MAIA *et al.* 2010). O soerguimento promovido pela epirogênese pós-cretácica alçou o antigo fundo marinho ao nível do topo dessas chapadas sendo, posteriormente, removidas pela erosão ao longo do Cenozoico (DANTAS *et al.* 2008).

A tectônica cretácea que culminou com a abertura do continente é considerada por muitos como um dos eventos mais importantes do ponto de vista geológico-geomorfológico

(MAIA; BEZERRA, 2014). É, portanto, o Cretáceo um divisor temporal importantíssimo para se desvendar os enigmas da morfogênese do relevo sul-americano (ROSS, 2016).

Após o fim do período Cretáceo, variações climáticas e do nível do mar com a ocorrência de uma transgressão e regressão holocênica que modelaram as formas litorâneas e os Vales Fluviais (MAIA *et al.* 2010).

Dado esse arcabouço geocronológico, as formas resultantes na paisagem são diversas, instigando a aplicação da geomorfologia afim de compreender os eventos e processos responsáveis pela paisagem atual.

Portanto, complementarmente, delimita-se o recorte espacial. O presente trabalho abordará a gênese e a evolução de relevos, com enfoque na perspectiva de formas graníticas e suas interações nas unidades sedimentares da planície fluvial do Rio Jaguaribe e da Chapada do Apodi, considerando eventos da megageomorfologia à origem de microfeições resultantes de intensos processos erosivos quaternários. Levando em conta fatores decorrentes da interação entre as unidades ao longo do tempo geológico e das alternâncias climáticas, buscou-se aqui uma tentativa de caracterizar as feições resultantes da relação entre as várias unidades geomorfológicas presentes na área.

Dessa forma, as teorias tradicionais que relatam e quantifica as superfícies de aplainamento derivadas de eventos epirogenéticos seguidas por variações climáticas devem ser consideradas acerca da evolução das paisagens, uma vez que alicerçaram os modelos clássicos de evolução da margem atlântica. Contudo, o modelo clássico das superfícies mais baixas serem as mais recentes, deve ser analisado a partir de um contexto de evolução local.

Peuvalst e Claudino Sales (2006), argumentam sobre a reconstrução da margem continental em um viés morfogenético, onde elencam os principais eventos oriundo de uma margem transformante com evolução específica dada a presença de riftes, riftes abortados e o adelgaçamento crustal.

Maia e Bezerra (2014) assim, sugerem que interpretação acerca da evolução do relevo nordestino perpassa por estudos morfotectônicos, em um viés da geomorfologia estrutural, todavia, considerando que relevo do Nordeste brasileiro é poligenético, podendo ser interpretado com a composição de diversas teorias.

As representações atreladas a evolução do relevo no presente trabalho, perpassam por modelos em que o mapeamento geomorfológico contribuiu nas possibilidades de entendimento para a gênese e evolução de paisagem, complementadas com os blocos diagramas ilustrativos e produtos gerados em ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica) como os perfis topográficos e fotografias.

Em suma, tem como objetivo principal, caracterizar e propor um modelo de evolução geomorfológica dos relevos graníticos inseridos entre a planície fluvial do Rio Jaguaribe e do planalto sedimentar do Apodi, com baseado em denso levantamento bibliográfico e análise de dados trabalhados em ambiente SIG.

Tendo ainda como objetivos específicos o ensejo de contribuir aos estudos de evolução geomorfológica na margem atlântica; evidenciar o potencial geocientífico da área com enfoque na geomorfologia local como subsidio de gestão e planejamento; além de fornecer material bibliográfico para a área em questão evidenciando a relevância da paisagem em um contexto da geoconservação.

## **2 PRINCIPIOS E FUNDAMENTOS**

As concepções teóricas são fundamentais para as temáticas científicas, constituindo referências para a formulação de problemas, planejamento das pesquisas e interpretação dos dados (CHRISTOFOLETTI, 1989).

A Geomorfologia possui vasto arcabouço teórico em suas bases conceituais e se somado as demais áreas das geociências, o leque de autores e teorias se torna ainda maior. Para o entendimento da construção e desenvolvimento do presente trabalho, foi considerado desde os pensamentos fundamentais como as teorias da Deriva Continental de Wegener (1912) enfoque na tectônica de placas e da Variação Orbital de Milankovitch (1920) para explicar as alternâncias climática, pontuando seus reflexos na a geomorfologia.

Constatando as teorias citadas na paisagem a partir da análise do relevo e das correlações possíveis, buscou-se o entendimento das superfícies de aplainamento, a exemplo, da concepção dos ciclos de erosão de Davis (1899), da formulação entre forças endógenas e exógenas de Penck (1924), as teorias de pediplanação e nível de base de King (1953), a evolução das vertentes a partir da pedogênese e morfogênese com Bigarella (1965), a etchplanação de Budel (1982), entre outros.

Oliveira e Souza (2019) propõem para os estudos ambientais, a análise integrada da paisagem, tendo como base os estudos integrados através da multi-interdisciplinaridade e sob o ponto de vista teórico-metodológico dependem de uma abordagem sistêmica que integra o conjunto das variáveis ambientais envolvidas no processo.

Esses estudos envolvem de assuntos unitemáticos e tratando-se do ambiente, dão ênfase ao conjunto dos fatores do potencial ecológico (fatores abióticos) e da exploração

biológica (fatores bióticos) (OLIVEIRA; SOUZA, 2019).

Os sistemas ambientais tendem a apresentar um arranjo espacial decorrente da similaridade de relações entre os componentes de natureza geológica, geomorfológica, hidroclimáticas, pedológica e biogeográfica, materializando-se nos diferentes padrões de paisagens (OLIVEIRA; SOUZA, 2019). Tal abordagem é extremamente eficaz para a caracterização, compartimentação e zoneamento da área de estudo, sendo adotado a terminologia de sertões, com referência ao Sertão Sul Ocidental, de acordo com a compartimentação das unidades geoambientais propostas pelos autores.

Os conceitos funcionam como pontes que interligam as ideias basilares na construção do pensamento. Dessa forma, para a elaboração da proposta de evolução geomorfológica adota-se o entendimento sobre os conceitos de nível de base em várias escalas, erosão diferencial por diferenciação litológica, recuo lateral/areolar, erosão linear, *Knickpoints*, duplo aplainamento, etchplanação, etc.

Concordando com Bigarella *et al.* (2021), baseando na farta documentação existente acerca da grande instabilidade climática que caracterizou principalmente o Quaternário em toda a superfície terrestre, consideramos as formas, na sua maioria, como paleoformas que respondem como resquícios, muitas vezes dissecados e herdados de paleoclimas com predominância de morfogênese mecânica e erosão em lençol. Assim, adota-se a influência climática sobre o relevo como peça fundamental ao entendimento.

King considera que pediplanos, pedimentos e inselbergs distribuídos por extensas áreas de diferentes latitudes são formas ainda em evolução atualmente, malgrado a diversidade das condições climáticas locais (BIGARELLA *et al.* 2021)

Subscrevendo Bigarella *et al.* (2021), durante o Pleistoceno em determinadas áreas do território brasileiro, dois diferentes conjuntos de processos operando alternadamente submeteram a paisagem à degradação lateral em clima semiárido (épocas glaciais) ou à dissecação em clima úmido (épocas interglaciais). A ação erosiva seria muito efetiva no período de transição de um tipo de clima para o outro, nisso a alternância entre a morfogênese e pedogênese tem valor intrínseco no entendimento das formas de relevo.

Uma mudança para um clima mais seco significa, então, uma dominância de processos mais ativos de erosão denudando as vertentes, e acelerando sua evolução (BIGARELLA *et al.* 2021). Salgado (2007) secciona os modelos de evolução da paisagem entre tectônicos – Davis (1899) e Penk (1924) – e climáticos – King (1953), Büdel (1957, 1982) e Millot (1982). E considera ainda a que relevo é poligenético ao pontuar que todas as teorias necessitam de complementações e entendimentos específicos ao aplicadas, ou seja, a

justaposição de teorias é possível.

Maia *et al.* (2018) por sua vez pontua a necessidade de se analisar a evolução dos relevos do ponto de vista de macroescala temporal a partir de teorias fundamentadas nos sistemas de referência em Geomorfologia (Ecthplanação e Pediplanação). Ainda o autor, com enfoque para compreender a distribuição das diferentes formas graníticas ao longo do semiárido brasileiro, indica como necessária a compreensão dos principais processos morfodinâmicos envolvidos na sua gênese (MAIA *et al.* 2018).

Neste sentido, a geomorfologia em granito tem desempenhado um papel importante na geomorfologia climática, inferindo-se que as paisagens graníticas podem fornecer informações importantes sobre a evolução geomorfológica dos terrenos em que ocorrem (MAIA *et al.* 2018).

Entretanto Ross *et al* (2019), pontua que o desafio para entender a morfogênese e a morfocronologia do relevo da América do Sul como um todo, está sempre em se considerar em primeiro momento a tectônica antiga e os arranjos estruturais decorrentes dela, seguidos pelos processos denudacionais que ocorreram por centenas de milhões de anos atuando nos crátons (escudos e plataformas) e nos cinturões orogenéticos do pré-Cambriano.

O relevo da América do Sul está contextualizado na macro-compartimentação e geodinâmica do continente, que por sua vez depende da geotectônica global, ou seja, no entendimento da teoria da Tectônica de Placas. Os fatos geotectônicos, tanto do passado como do presente, são interpretados através do arcabouço global do planeta, e os fatos locais e regionais só podem ser entendidos também nesse contexto (ROSS; FIERZ; NEPOMUCENO; MELO, 2019).

Saadi (1993) estabeleceu que os soerguimentos na margem passiva da placa sul-americana possuem relação com períodos de tectônica mais ativa nos Andes, observando relações entre tectônica andina e reativamento de falhas no Brasil. Sendo assim, a margem passiva brasileira (Brasil oriental) está submetida a períodos de soerguimento de intensidade variável de acordo com a dinâmica da placa sul-americana.

Portanto, dependendo da litologia local, da configuração tectônica e da história ambiental, o processo de etching a longo prazo, pode transformar uma paisagem, desenvolvendo diferentes topografias, desde planícies até relevos montanhosos (MIGÓN, 2006c).

Assim, é importante pontuar que a resistência aos processos endógenos e exógenos varia de acordo com o material que sustenta a forma de relevo, podendo cada litologia responder de maneira diferente aos mesmos processos que atuam sobre uma área.

Dessa forma Vitte (2005), alerta que se deve destacar que na análise geomorfológica, a teoria da Etchplanação deve ser avaliada em um quadro de referência maior, ou seja, pela noção de geomorfologia climatogenética e pela evolução do relevo inserida na noção de poligenia, na qual o relevo é o produto de um ciclo de etchplanação-pediaplanação. A teoria da Etchplanação procura abordar os processos de aplainamento pela ação geoquímica no relevo (VITTE, 2005).

A remoção do manto de intemperismo irá expor a base rochosa, cuja topografia é resultado direto da ação do intemperismo químico, se caracterizando como uma etched surface (BÜDEL, 1982; MIGÓN, 2006c).

No caso da porção setentrional do Nordeste brasileiro, as paisagens graníticas se destacam de maneira espetacular, constituindo setores de elevado potencial turístico e científico, apresentando nítidas evidências da história geomorfológica da região (MAIA *et al.* 2018). O mesmo autor ainda alerta que no caso do Nordeste semiárido, a termoclastia constitui um processo de grande relevância tendo em vista as significativas amplitudes térmicas diárias, contribuindo assim, na desagregação mecânica das rochas. Entretanto, esse processo ainda é bastante questionado por diversos autores, contudo significativo se considerado o recorte do semiárido do Brasil.

Os processos físicos supracitados tendem a justificar processos mecânicos como a descamação e a esfoliação esfereoidal. Tais processos, quando associados a encostas íngremes, tendem a desprender grandes blocos rochosos justificando expressivos depósitos coluviais, inclusive com a formação de caos de blocos (MAIA *et al.* 2018).

No Nordeste setentrional brasileiro, mais especificamente nas áreas interioranas de embasamento cristalino (rochas ígneas e/ou metamórficas) aflorante, é comum encontrar formas de relevo saprolítico (MAIA; NASCIMENTO, 2018).

Diferentes estágios do desenvolvimento do relevo saprolítico podem ser encontrados nas áreas dos lajedos ou afloramentos. Esses estágios podem ser subdivididos em pré-esfoliação, manto de alteração e blocos exumados (MAIA; NASCIMENTO, 2018).

Nesse contexto os autores pontuam que essas macroformas de relevo tiveram sua origem e evolução em dois estágios: O primeiro envolvendo intempéries subterrâneas estruturalmente controladas, ocorrendo um progressivo aprofundamento diferencial da frente de intemperismo. E o segundo associado à remoção do regolito pela erosão superficial, expondo setores da frente de intemperismo que não sofreram alteração, a exemplo dos inselbergs (MAIA; NASCIMENTO, 2018).

Ainda indicam que a geomorfogênese de paisagens graníticas não deve ser feita

de maneira a separar o papel do intemperismo físico do intemperismo químico, pois ambos desempenham importante função na elaboração das diversas feições graníticas, mesmo que em momentos distintos de sua evolução morfogenética.

A abordagem sobre os relevos graníticos se faz importante pelo motivo dos afloramentos ganharem destaque na paisagem do ponto de vista geomorfológico. Dessa forma, a geomorfologia de granitos é um dos alicerces para o entendimento da área de estudo.

Partindo dessa conceituação, vale pontuar que as bases estruturais para o presente trabalho intercalam entre a megageomorfologia e microfeições pontuais em um determinado tipo de forma de relevo.

Equivalendo as importâncias e considerando os acontecimentos geocronológicos, para o entendimento da paisagem em estudo, diversas são as áreas da geomorfologia aqui abordadas por se tratar de uma área onde ocorre em um curto espaço territorial planície fluvial, relevos graníticos, bacia sedimentar com as microfeições e processos derivadas de cada unidade de relevo.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nos últimos anos, a disponibilidade de informações topográficas e de elevação em todo o mundo provenientes de plataformas de satélites tem promovido a quantificação de análises baseadas em as formas do terreno ou da paisagem (LOBO, 2019).

Diversos trabalhos tomam como base a compartimentação topográfica do relevo para orientar a delimitação de formas e unidades, principalmente os estudos de megageomorfologia e de geomorfologia estrutural que com grande frequência tem análises baseadas em interpretações sobre MDE/MDT como é o caso de Corrêa (2010), Guadagnin e Trentin (2014), Maia e Bezerra (2014), Claudino-Sales (2016), Neves *et al.* (2003), Ross, Fierz, Nepomuceno e Melo (2019), entre outros. Para sistematizar os dados aqui trabalhados, sucederam as seguintes etapas:

1) revisão conceitual e bibliográfica, onde buscou-se comparar desde os trabalhos clássicos a publicações mais recentes relacionadas a temática e o recorte espacial em questão.

2) coleta e processamento de dados secundários utilizando softwares com o Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde possibilitou a confecção de mapas temáticos que permitiram a interpretação de elementos da paisagem e orientaram a etapa posterior.

3) atividades de campo para o levantamento de dados primários e validação dos

dados da obtidos na etapa anterior.

4) elaboração do modelo de evolução, identificação e caracterização da dinâmica ambiental das formas utilizando dados obtidos nas atividades de campo e nos processamentos digitais.

Na fase inicial da revisão conceitual e bibliográfica, foram priorizados documentos científicos que direcionaram a abordagem para evolução geomorfológica e morfoestrutural das paisagens do extremo nordeste brasileiro, subsidiados em dados geocronológicos, paleoclimáticos, utilizados de metodologias de mapeamento geomorfológico.

A bibliografia para as etapas de processamento e uso dos materiais foi coletada a partir de estudos em que também utilizaram modelos digitais de elevação (MDE) ou modelos digitais de terreno (MDT) para classificação manual de elementos da paisagem e das formas com os mesmos produtos utilizados, no caso, as imagens Alos Palsar.

Na etapa de coleta e processamento de dados secundários, foram lavrados arquivos vetoriais disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014) o qual permitiu através do detalhamento da geodiversidade, a descrição de unidades presentes na área de estudo permitindo a identificação em campo das feições geológicas e ambientais, além de outros órgãos públicos com acesso gratuito ao banco de dados que possibilitou a coleta das informações do meio físico em escala adequada ao estado do Ceará como o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) através do IPECEDATA e ainda das divisões políticas disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Estes dados foram processados em um ambiente SIG utilizando o software *ArcMap 10.3.1*. gerando mapas temáticos. O Quadro 1 traz informações sobre os materiais utilizados e sua aplicabilidade na construção da pesquisa.

Quadro 1 – Materiais utilizados na coleta e composição do banco de dados e produtos cartográficos.

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Bases e uso</b>
Limites municipais do Ceará	Arquivo vetorial (shapefile)	Delimitação dos municípios abrangidos na área de estudo e entorno. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.
Sedes municipais	Arquivo vetorial (shapefile)	Espacialização das sedes municipais enquanto referência para a área em estudo. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Bases e uso</b>
Divisas estaduais	Arquivo vetorial (shapefile)	Delimitação das divisas estaduais para espacialização da área de estudo. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.
Fronteiras internacionais	Arquivo vetorial (shapefile)	Delimitação das fronteiras internacionais para disposição da área no contexto da América do Sul. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.
Placas tectônicas	Arquivo vetorial (shapefile)	Espacialização da área de estudo de acordo com o limite da placa Sul-americana. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.
Oceanos	Arquivo vetorial (shapefile)	Espacialização da área de estudo com base nas dinâmicas tectônicas e geológicas das aberturas dos oceanos. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos.
Geodiversidade do Ceará	Arquivo vetorial (shapefile)	Identificação e espacialização de unidades geológicas e geomorfológicas com dados consolidados para o estado Ceará. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e auxiliar da identificação em campo.
Drenagem bifilar	Arquivo vetorial (shapefile)	Identificação e espacialização dos principais corpos hídricos no estado do Ceará, especial na área de estudo. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e auxiliar da identificação em campo.
Mosaico de Imagens ALOS PALSAR RTC	Imagens raster. Formato GeoTIFF.	Arquivos utilizados em mosaico para extração de valores decorrentes do Modelo Digital de Elevação. © JAXA/METI ALOS PALSAR Conjunto de dados: ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos, na extração de perfis topográficos, no processamento da identificação de feições geomorfológicas e auxiliar na identificação em campo. Imagens de referência: AP_21150_FBS_F7070_RT1.tif; AP_21150_FBS_F7080_RT1.tif;

Material	Tipo	Bases e uso
		AP_21150_FBS_F7090_RT1.tif; AP_22069_FBS_F7070_RT1.tif; AP_22069_FBS_F7080_RT1.tif; AP_26343_FBS_F7070_RT1.tif; AP_26343_FBS_F7080_RT1.tif.
Modelo Digital de Elevação	Imagens raster. Formato GeoTIFF.	Mosaico formado pela compilação das imagens Alos Palsar de resolução 12,5m. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e para a obtenção de produtos posteriores.
Declividade	Imagens raster. Formato GeoTIFF.	Extraído a partir do MDE constituído pelas imagens Alos Palsar e processado no software Arcgis 10.3. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e no entendimento dos processos geomorfológicos.
Curvas de nível	Arquivo vetorial (shapefile)	Curvas de nível extraídas a partir do MDE constituído pelas imagens Alos Palsar e processado no software Arcgis 10.3. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e no entendimento dos processos geomorfológicos.
Rede de drenagem	Arquivo vetorial (shapefile)	Rede de drenagem extraída pelo software global mapper 17 a partir do MDE constituído pelas imagens Alos Palsar e processado no software Arcgis 10.3. Arquivo utilizado na composição dos mapas temáticos e no entendimento dos processos geomorfológicos.
Phantom 4 - DJI	Veículo aéreo não tripulado	Câmera com sensor de 20mp. Equipamento para obtenção de fotografias panorâmicas e ângulos inacessíveis.
Receptor GNSS RTK	Equipamento geodésico	Receptor de alta precisão de coleta de pontos <i>Global Position System</i> (GPS) e GLONASS com precisão máxima de 0.5m. Equipamento utilizado para coleta e espacialização em ambientes do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Fonte: do autor.

Ainda na segunda etapa, foram exploradas no software *Global Mapper 17*, as imagens ALOS PALSAR 12,5m disponibilizadas pela ASF – *Alaska Satellite Facility* da Missão *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Submetidas aos processos de *generator watershed*, o qual possibilitou a extração e classificação da drenagem em escala local (ANEXO D) e ao *custom shader*, onde permitiu personalizar a superfície do Modelo Digital de Elevação (MDE) de acordo com as cotas topográficas adequadas à realidade da área em questão, além de viabilizar o traçado de perfis de elevação. Esses processos promoveram uma melhor visualização de feições e paleofeições do relevo que conseguinte puderam ser analisadas e mapeadas (Quadro 2).

Quadro 2 – Procedimentos operacionais para a categorização de formas no software *Global Mapper 17*, através do *custom shader*.

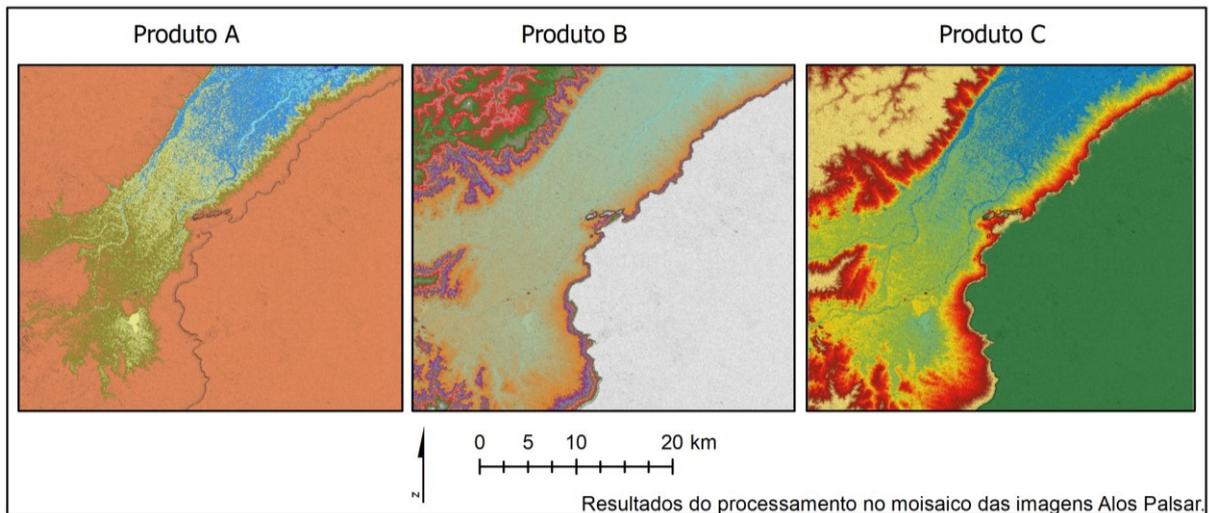
Unidades	Formas desejadas à identificação	Cotas Altimétricas		Figura*
		Intervalo	Divisão	
Planície Fluvial	Canal atual, Paleocanais, drenagens obsequentes.	0 a 30 m	5 m	A
Superfície Cretácea Aplainada	Patamar basal do arenito Açú, morros testemunhos do Planalto do Apodi e relevos graníticos em sobressalto.	0 a 50 m; 50 a 100 m	5 m	B
Planície, relevos graníticos e o Planalto do Apodi	Padrões da vertente do Planalto Apodi e Colúvios.	0 a 120 m	15 m	C

Fonte: elaborado pelo autor.

\*As figuras enquanto resultado estão inseridas com melhor resolução nos anexos do trabalho.

A Figura 1 apresenta os resultados dos processamentos no mosaico das imagens raster. A partir desses produtos, as etapas de campo foram direcionadas buscando a verificação e identificação das formas evidenciadas após a manipulação do MDT.

Figura 1 – Resultados do processamento no software *Global Mapper 17*.



Fonte: elaborado pelo autor.

A terceira etapa se constitui de diversas atividades em campo. A princípio, um campo exploratório onde teve como objetivo o reconhecimento superficial da área de estudo e seguido de diversas idas a área de estudo com objetivos específicos, dentre esses, a coleta de pontos do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), a verificação dos resultados do processamento e o levantamento de fotografias aéreas a partir de um veículo aéreo não tripulado VANT Phantom IV. Dada a diversidade de feições geológicas e ambientais na área, as idas a campo foram direcionadas também em etapas que possibilitaram a análise setorizada das unidades, sendo destinado o primeiro campo a escarpa e a chapada do Apodi, o segundo aos inselbergs e o último à análise da planície fluvial do entorno.

Por fim, os produtos finais e os resultados foram adquiridos sobre as informações das etapas anteriores, onde puderam ser cruzados os dados de domínio público disponibilizados pelos órgãos e as informações levantados nas atividades de campo. Gerando elementos suficientes para a caracterização da evolução geomorfológica da área de estudo, considerando como elementos principais o rio Quixeré, os afloramentos graníticos e a escarpa oeste da Chapada do Apodi.

#### 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No Estado do Ceará, o relevo comporta características que dependem da influência de um conjunto de fatores, dentre os quais as condições geológico-estruturais, paleoclimáticas e a dinâmica geomorfogenética atual são os mais destacáveis (SOUZA,

1981). Inserida no semiárido brasileiro, localizada ao extremo leste do estado do Ceará a área de estudo se configura pela extensa planície do Rio Jaguaribe, que em seu baixo curso margeia a escarpa da Chapada do Apodi, planalto sedimentar cretácico.

Entre as duas unidades, rochas graníticas pré-cambrianas com a morfologia de inselbergues compõem a paisagem evidenciando um sistema de evolução complexo e dinâmico.

Este rebordo erosivo denuncia um episódio moderno de erosão regressiva, exumando uma antiga superfície de aplainamento mais antiga que as rochas sedimentares sobrepostas sendo, portanto, de idade cretácica, supostamente, pré-Albiana (CLAUDINO SALES; PEULVAST, 2007; PEULVAST *et al.* 2008).

O setor do baixo-Jaguaribe em questão pode ser descrito como uma zona distinta do restante de seu curso, pois exhibe uma diversidade de litologias, relevos e consequentemente processos que atuam sob cada elemento, que integrados, compõem a paisagem em análise.

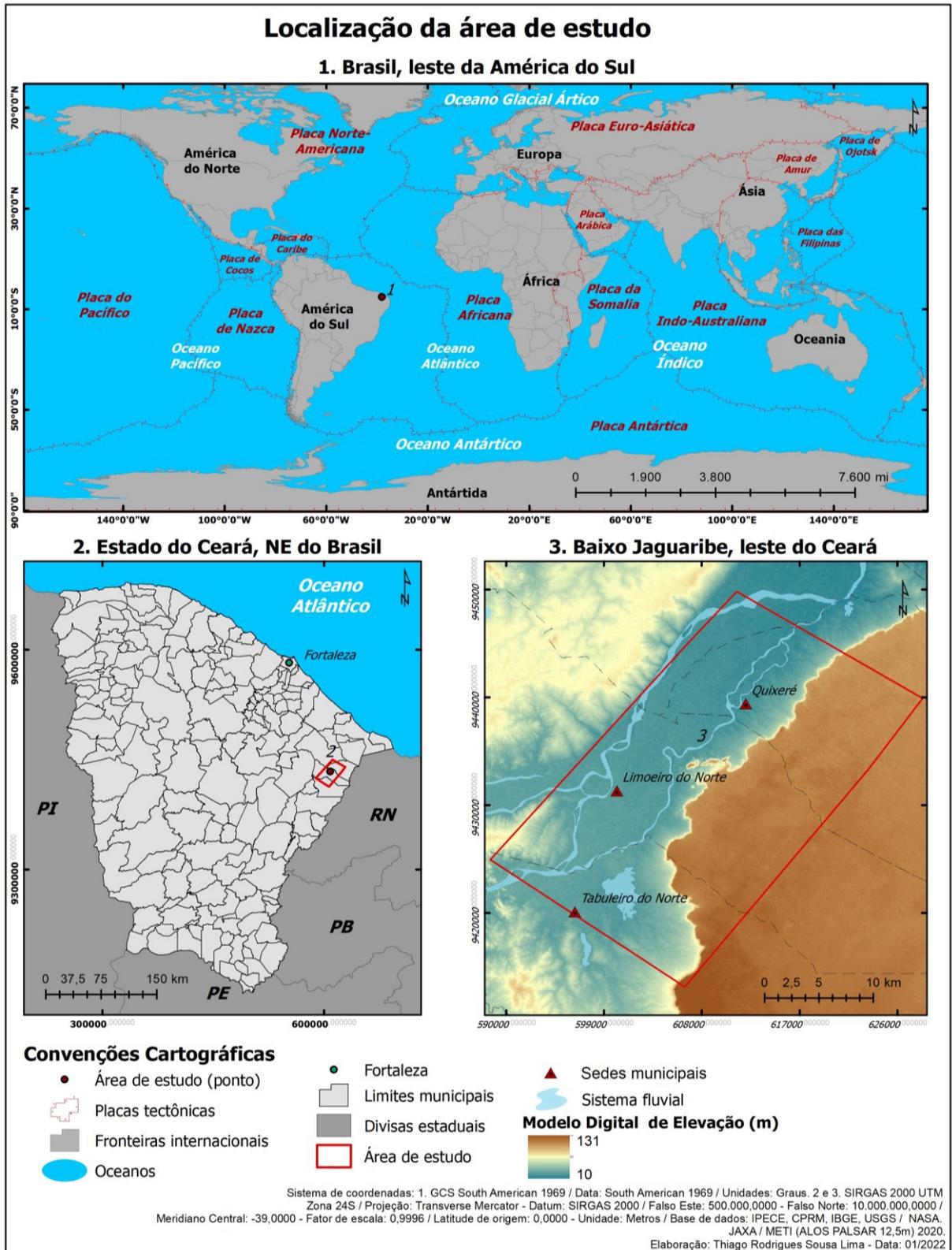
Sobre a complexidade da região do baixo-Jaguaribe MAIA (*et al.* 2006, p. 8) considera:

A área hoje ocupada pelo baixo curso do Rio Jaguaribe evoluiu ao longo do tempo através de uma complexa interação entre tectônica (rifting, abortamento e truncamento do rift por abertura oceânica através de processos transformantes), sedimentação (transformação do rift em bacia sedimentar, inumação de antigas superfícies de aplainamento), processos lineares (instalação do Rio Jaguaribe, erosão fluvial e erosão da borda da bacia e formação da chapada do Apodi, exumação de paleosuperfícies de aplainamento) e processos areolares (formação de superfícies de aplainamento, recuo de vertente e dissecação da chapada do Apodi).

Diversos trabalhos já desenvolvidos na região do Baixo Jaguaribe subsidiaram a contextualização e caracterização da área. Desenvolvidos com a temática da dinâmica ambiental como Souza (1998;2005) e Cavalcante (2014), evolução dos canais fluviais como Maia (2005;2006;2012); Cavalcante (2001;2012;2018); Andrade e Maia (2018); Silva (2017), e outros com o viés morfoestrutural, Claudino Sales e Peulvast (2007); Maia e Bezerra (2014).

Para dissertar sobre a história geológica e os eventos que ocorreram na área de estudo, foi tomado como padrão a escala do tempo fornecida pela Comissão Internacional de Estratigrafia proposta por Cohen *et al.* (2013), disponível nos anexos do trabalho. A Figura 2 traz a o contexto da espacialização área de estudo tomando como referência as placas tectônicas, os continentes, regiões, estados e municípios.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com base na compartimentação topográfica do estado do Ceará, SOUZA (1979) descreve a área como limitada na fronteira norte-oriental dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, a chapada do Apodi é capeada em sua quase totalidade por calcários pertencentes à

formação Jandaíra. Ainda, do ponto de vista morfoestrutural, SOUZA (1988) inclui a chapada do Apodi no domínio das bacias sedimentares e paleo-mesozoicas.

Em território cearense, a escarpa voltada para oeste, só chega a ser mais perceptível quando o rio Jaguaribe se aproxima da mesa. Há então o contato das litologias do grupo Apodi com as aluviões da planície fluvial elaborada pelo Jaguaribe (SOUZA, 1979).

Como observado, o estado do Ceará atualmente se encontra na margem leste do continente sul-americano, mas, ao remontar a “dança dos continentes” (BRITO NEVES, 1999), há 240 Ma AP, no período Triássico, sua localização esteve no centro do supercontinente Pangeia. Isso implica analisar que os elementos que compõem a paisagem, como geologia, geomorfologia, clima, solos e vegetação são mutáveis ao longo do tempo geológico resultando em paisagens e processos diferentes.

Brandão e Freitas (2014), indicam que no ponto de vista tectônico, grande parte da região abrangida pelo Ceará está inserida no setor setentrional da Província Borborema (ALMEIDA *et al.* 1977), que compôs parte do supercontinente Gondwana, formado a partir da aglutinação de massas continentais dos atuais continentes da África, América do Sul, Austrália, Índia e Antártica, envolvendo múltiplas e sucessivas colisões, que se iniciaram em 750 Ma AP e perduraram até 530 Ma AP, coincidindo com o evento geológico Brasileiro – Pan-Africano (CORDANI *et al.* 2000).

A província Borborema encontra-se dividida em 3 grandes segmentos, sendo eles a Meridional, Transversal e Setentrional, separados por duas grandes estruturas tectônicas denominadas de lineamentos Pernambuco e Patos (CAVALCANTI; CAVALCANTE, 2014).

Sendo fragmentada devido às zonas de cisalhamento que a recorta em mosaicos tem suas principais direções desses cisalhamentos são NE-SW e E-W e secundariamente NNW-SSE. Estas zonas de cisalhamento se comportam como estruturas delimitadoras das unidades geotectônicas como os maciços e os sistemas de dobramentos. São falhas com transcorrência e empurrões com comprimentos de dezenas a centenas de quilômetros (GOMES NETO, 2007).

A subprovíncia setentrional abrange mais de 90% da superfície do estado Ceará, sendo também subdividida em três domínios tectônicos principais, conhecidos como Médio-Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte (CAVALCANTI; CAVALCANTE, 2014).

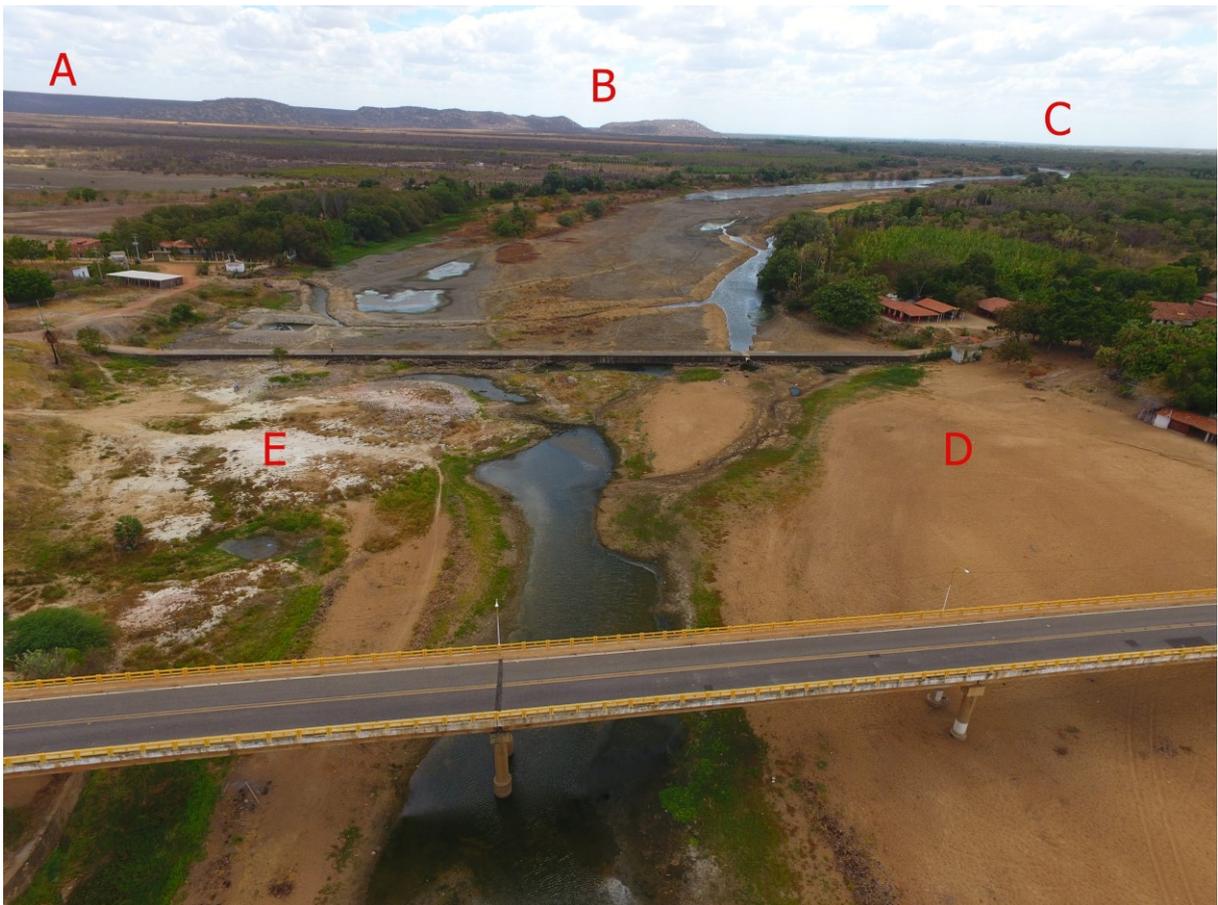
A área de estudo se insere no domínio do Rio Grande do Norte, fazendo contato direto com os depósitos cenozoicos presentes nas planícies fluviais e os depósitos cretácicos da bacia potiguar. Atualmente, encontra-se no limite do continente da América do Sul, próximo a borda divergente da placa sul-americana, ocasionando um período de calmaria

tectônica para grandes eventos sísmicos, contrário aos eventos do passado geológico que resultaram em formas estruturais como é o caso da bacia potiguar.

Nesse assunto, deve-se pontuar a frequência de eventos neotectônicos, contudo não se faz como foco do trabalho nesse momento, uma vez que para a caracterização e entendimento do relevo em pauta, outros eventos geomorfológicos se sobressaem, a exemplo dos processos estruturais e erosivos.

Dado o contexto estrutural, de acordo com Brandão e Freitas (2014), no Mapa Geodiversidade do Ceará, foram delimitados diversos tipos de rochas/depósitos no contato entre a planície do Rio Jaguaribe e a Chapada do Apodi. Nesse interim, as rochas sedimentares são predominantes por constituírem a superfície aflorante do planalto sedimentar e da planície fluvial. A Figura 3 traz a paisagem uma fotografia aérea da área de estudo pontuando a diversidade de feições.

Figura 3 – Arenitos da formação Açú (E) na margem esquerda do Rio Quixeré (C) evidenciando na paisagem a interação entre as duas unidades. Na margem direita acúmulo de sedimentos fluviais (D), ao fundo os inselbergs (B) e a Chapada do Apodi (A).



Fonte: acervo do autor.

Na Chapada do Apodi, encontra-se a Formação Jandaíra e a Formação Açú. Na Formação Jandaíra predomina o calcário e sedimentos síltico-argilosos, com aspecto

estratificado, é composta por rochas de calcarenito, calcilutito, folhelho, evaporito e siltito, faz parte dos domínios das sequencias sedimentares mesozoicas clastocarbonáticas consolidadas em bacias de margens continentais (rift) (CPRM, 2014).

A formação Açú, por sua vez, predomina sedimentos quartzoarenosos e conglomeráticos, com intercalações de sedimentos siltico-argilosos ou calcíferos. Composta por arenito siltito e folhelho, compõe o domínio dos sedimentos cenozoicos e mesozoicos pouco a moderadamente consolidados, associados a pequenas bacias continentais do tipo rift (CPRM, 2014).

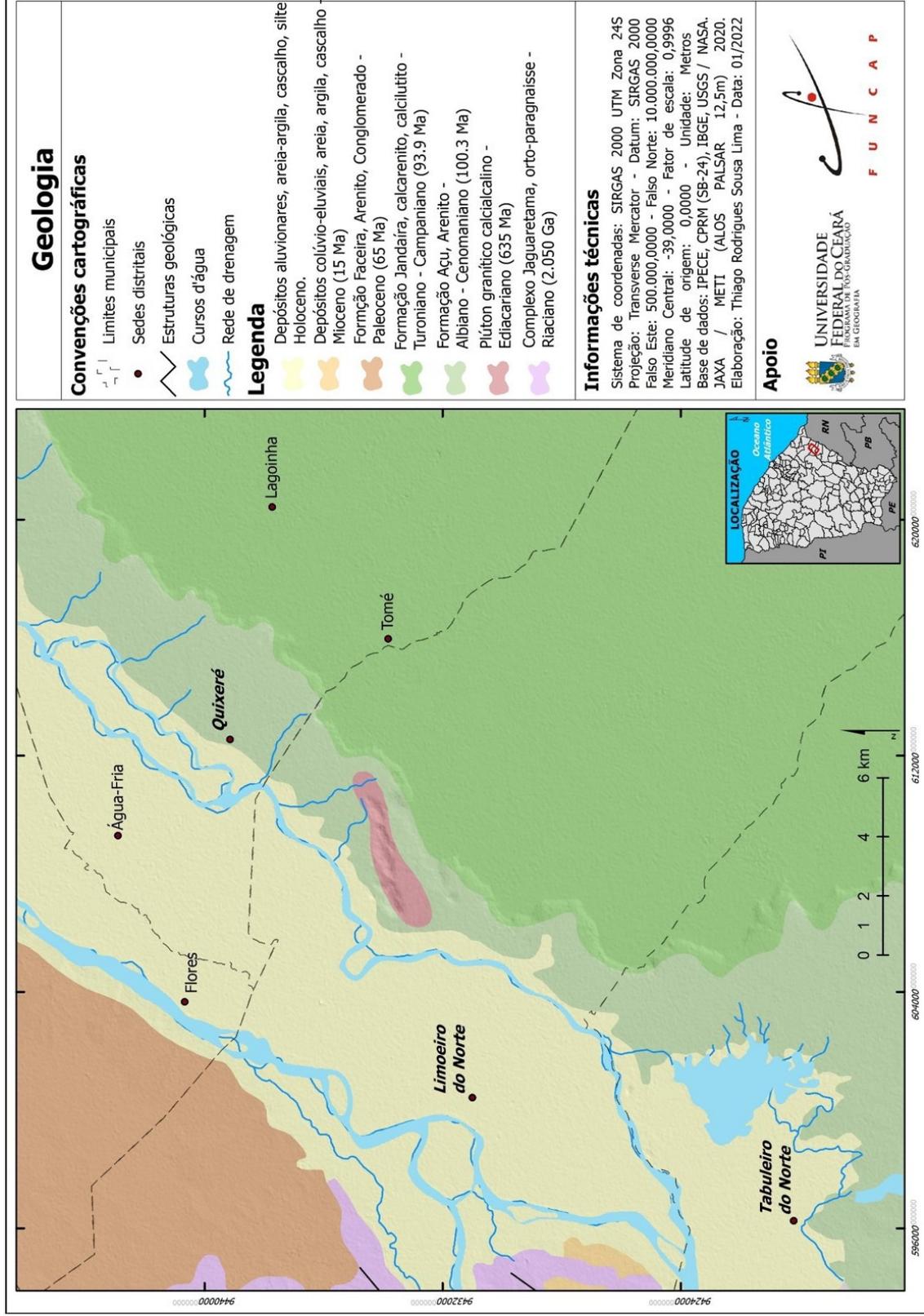
Na planície fluvial do Rio Jaguaribe predomina os Depósitos Aluvionares Recentes composto por areia, cascalho, silte e argila; e entre os dois ocorre o afloramento da Suíte Intrusiva Itaporanga, com composição de granitos alcalinos (CPRM, 2014).

Ao redor da área em investigação podem ainda ser delimitados os depósitos da Formação Faceira predominando na parte noroeste e ao sudoeste Superfícies Aplainadas Degradadas, a Formação Orós formado por metassedimentos siltico-argilosos e xistos, além do Grupo Orós com o predomínio de quartzitos. As informações da geologia e unidades litológicas estão especializadas Figura 4.

Atrelado as unidades litológicas, optou-se nesse trabalho, a caracterização das unidades geomorfológicas de forma que a integração das rochas, clima, solos e vegetação sejam entendidas de acordo com a forma e os processos que ocorrem.

Por tanto, ainda baseado no mapeamento da Geodiversidade do Ceará e levantamentos em campo, foi seccionado em três unidades passíveis de caracterização, sendo elas: (i) a Planície Fluvial do Rio Jaguaribe; (ii) a Bacia Potiguar e a Chapada do Apodi; (iii) o embasamento cristalino e os relevos graníticos.

Figura 4 – Mapa de geologia da área de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

#### 4.1 A planície fluvial do Rio Jaguaribe

De acordo com o IBGE (1999) a planície fluvial do Rio Jaguaribe apresenta em sua extensão altitudes que variam de 0 a cerca de 200m, onde exhibe depósitos holocênicos (areias finas a grosseiras, cascalhos e argilas com matéria orgânica) que ocorrem nos leitos dos rios, que recobrem rochas pré-cambrianas, mesozoicas e cenozoicas constituindo as planícies e os terraços fluviais de espessuras variáveis, onde em alguns locais, o material existe em pouca quantidade, chegando a expor o substrato rochoso.

A bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe engloba cerca de 50% do Estado do Ceará, possui cerca de 610 km de extensão e 74.000 km<sup>2</sup> de bacia hidrográfica (CAVALCANTE e CUNHA, 2012). A área em questão fica na sub-bacia do Baixo Jaguaribe com uma área de drenagem de 6.875 km<sup>2</sup>, correspondente a 4,64% do território cearense (COGERH, 2021).

A paisagem se diferencia em função da cobertura vegetal às margens do canal fluvial por contrastar com a vegetação caducifólia e de baixo porte dos interflúvios sertanejos (SOUZA, 1988). Na planície fluvial predomina o Neossolos Flúvicos, oriundo de aluviões e desenvolve-se uma vegetação ripária com marcante presença de carnaúba (*Copernicia prunifera*), constituindo um tipo particular de mata ciliar que recebe o nome de mata ciliar com carnaúba (MORO *et al.* 2015).

As maiores bacias hidrográficas do Nordeste setentrional estão diretamente condicionadas por falhamentos e por zonas de cisalhamento dúcteis. O Rio Jaguaribe desenvolve seu baixo e médio curso sobre a falha homônima (MAIA; BEZERRA, 2014).

A meteorização diferencial das rochas, assim como as diferenças de resistência à erosão linear farão com que o escoamento predominantemente difuso anterior se concentre em ravinas onde as rochas oferecem menor resistência (BIGARELLA *et al.* 2021). Estas considerações aplicam-se à área estudada, onde se verifica que o padrão da drenagem reflete adaptações a zonas de fraqueza estrutural.

Vitte (2005) ao teorizar sobre a etchplanação aponta a importância do sistema fluvial, associado às propriedades geomorfológicas do canal fluvial, às características lito-estruturais e a história paleoclimática, apontando que pode dinamizar o aprofundamento do front de alteração e o conseqüente aplainamento do relevo de uma determinada área de maneira diferencial, resultando em uma variedade de formas associadas a um mesmo processo e sistema de alteração geoquímico. Davis (1899) pontua ainda que a atividade fluvial possui fundamental importância no processo de transformação de superfícies soerguidas e enrugadas

em superfícies rebaixadas e aplainadas. São os cursos fluviais que coordenam a denudação do relevo, rebaixando seus vales, da foz em direção às cabeceiras.

Ao adentrar em seu baixo curso a drenagem bifurca, o rio se divide em braços com características diferenciadas. De acordo com Cavalcante e Cunha (2012), o braço esquerdo, recebe as águas do rio Banabuiú, onde apresenta um trecho de aproximadamente 10km, com marcas de intensa ocupação, onde, suas várzeas e margens foram desmatadas, gerando um acelerado processo de assoreamento do canal e respectiva migração de suas águas para o canal mais jovem (braço direito). Esse setor a direita recebe o nome de Rio Quixeré, onde aponta características de um canal mais estreito e profundo.

No entanto, durante as enchentes todo esse espaço era tomado pelas águas dos rios Salgado, Jaguaribe e Figueiredo, e apesar da construção de grandes reservatórios ter eliminado as grandes cheias, essas áreas continuam sendo alagadas nos anos em que as precipitações superam o padrão normal, a exemplo do ocorrido em 2008 e 2009 (COSTA, 2009). A Figura 5 traz o aspecto paisagístico da planície fluvial do rio Quixeré, dentro do vale do Jaguaribe.

Figura 5 – Planície fluvial do Rio Jaguaribe, em evidência o Rio Quixeré.



Fonte: acervo do autor.

Ainda, a dinâmica fluvial ao longo dos períodos geológicos decorrente alternâncias climáticas, influi na drenagem e nos processos constituintes da planície, desencadeando fluxo e de matéria e energia suficiente para escavar um vale expressivo como o do Rio Jaguaribe que chega a mais de 10km de largura em alguns trechos.

No trecho em evidência, o rio Quixeré margeia a escarpa oeste da Chapada do Apodi, fazendo o papel de rio um subseqüente confinado dentro de seu vale. Interagindo diretamente na paisagem como um receptor da drenagem obsequente que desce da escarpa da Chapada do Apodi.

Essa interação entre os elementos do relevo resulta em registros na paisagem que podem ser analisados atualmente como paleocanais, paleodepósitos, paleodrenagens, meandros abandonados e lagoas laterais, entre outras feições.

#### **4.2 A Bacia Potiguar e Chapada do Apodi**

A Bacia Potiguar faz parte do Sistema de riftes cretácicos do nordeste brasileiro. Sua formação relaciona-se ao processo de estiramento crustal que resultou no rompimento do Supercontinente Gondwana, a partir do Mesozoico, e que culminou com a separação das placas sul-americana e africana e a formação do oceano Atlântico (BERTANI *et al.* 1990).

As forças responsáveis pela ruptura de Gondwana acabaram concentrando-se na expansão do Oceano Atlântico e o rifte potiguar não evoluiu. Ao contrário ele foi atulhado de sedimentos, formando a Bacia Potiguar (MAIA, 2005).

Grandes pacotes sedimentares foram depositados durante a fase de rifting no Cenomaniano-Aptiano Inferior  $\cong$  125 Ma AP e foram cobertas por séries sedimentares depositadas em um contexto de subsidência tectônica térmica no Albiano Superior-Aptiano Superior  $\cong$  113 Ma AP, e então, por sedimentos marinhos, com deposição associada com a subsidência térmica e isostática da margem continental passiva (PEULVAST; SALES, 2006).

Depois de uma fase transgressiva no Albiano-Campaniano, no Cretáceo Inferior  $\cong$  113-83.6 Ma AP, os depósitos pós campanianos compuseram uma plataforma mesclada onde um grande ciclo regressivo é reconhecido até o Holoceno. A bacia potiguar foi soerguida no mesocampaniano, Cretáceo superior  $\cong$  88 Ma AP (PEULVAST; SALES, 2006).

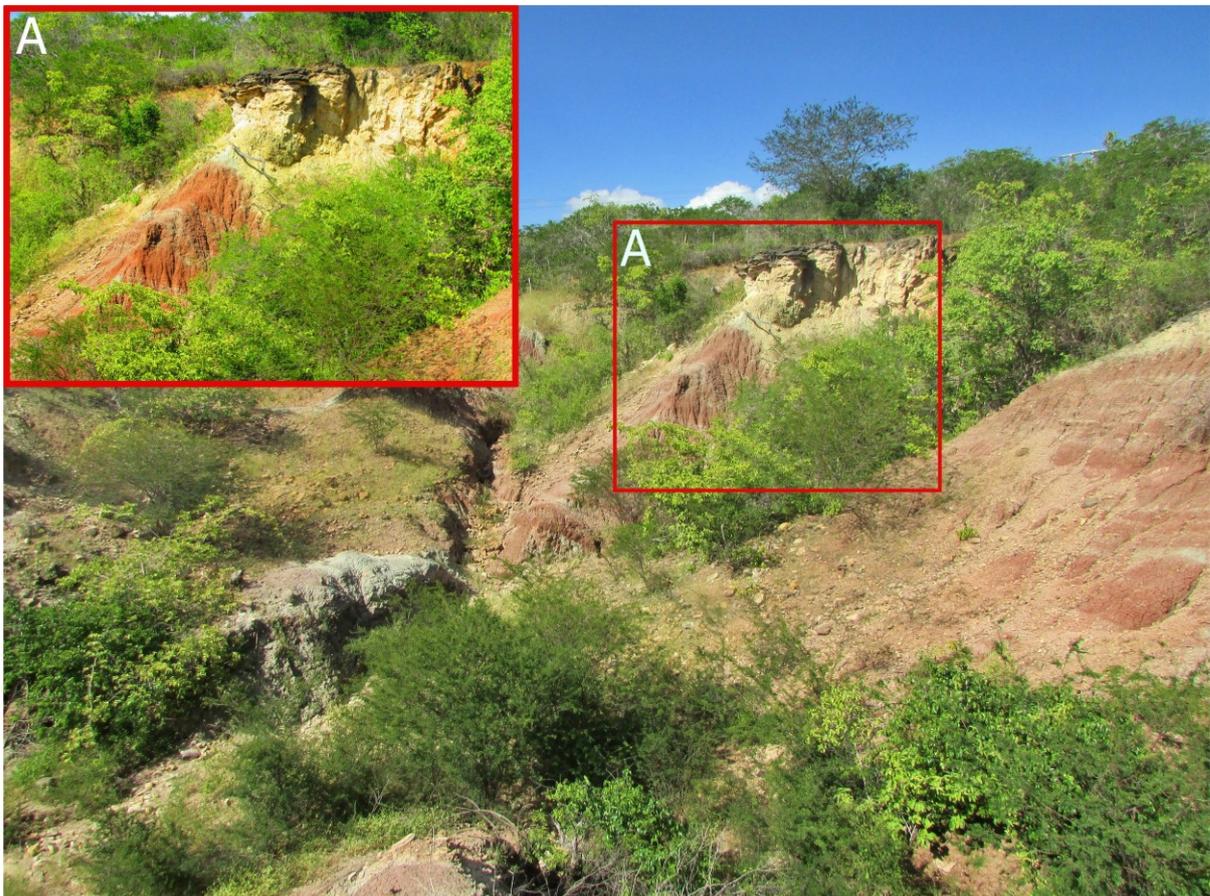
Os afloramentos expostos da bacia potiguar são apenas as das formações Açú, Jandaíra, Tíbau e Barreiras (ARARIPE e FEIJÓ, 1994). As duas primeiras afloram na escarpa oeste da Chapada do Apodi. O mergulho das camadas da bacia potiguar está direcionado do

centro sentido leste, resultando na paisagem um condicionamento preferencial da disposição de algumas feições geomorfológicas como o recuo da escarpa e principalmente na drenagem que flui em seu entorno. A morfologia da bacia se constitui, em síntese, de uma chapada relativamente plana, que apresenta suave declive para o mar e escarpas abruptas nos limites meridional e ocidental, onde se estende uma frente de cuesta (SAMPAIO, 1968).

Souza (1988) descreve a Chapada do Apodi como um baixo planalto, capeado por calcários pertencentes a formação Jandaíra que forma pequena cornija responsável pelo desnível com o Arenito da formação Açu, com o topo levemente rampeado para norte, conferindo ao relevo um aspecto cuestiforme.

As áreas que o circundam, constituem patamares dissecados de modo incipiente, posicionando pouco acima da planície fluvial do Jaguaribe. Em seu extremo meridional, a escarpa margeia a porção nordeste do estado do Ceará onde o Rio Jaguaribe corta a bacia em sentido transversal (SAMPAIO, 1968). Neste setor, a escarpa alcança cotas de 120m, exibindo fácies do calcário Jandaíra datado do turoniano-campaniano  $\cong 93.9$  Ma AP, sobreposta ao Açu (Figura 6), datadas do albiano-cenomaniano  $\cong 113-100.5$  Ma AP.

Figura 6 – Arenito da formação Açu sotoposto ao Calcário da formação Jandaíra evidenciados na escarpa da Chapada do Apodi, na localidade de Santa Terezinha, município de Quixeré - CE.



Fonte: acervo do autor.

Por consequência das rochas carbonáticas em seu platô, os processos de infiltração e dissolução são marcantes em afloramentos cársticos na superfície da Chapada do Apodi resultando em cavidades naturais, espeleotemas, vales cársticos, lajedos e lapiás entre outros. Ainda sobre os processos intempéricos, as duas litologias presentes na escarpa da Chapada do Apodi respondem de forma diferente aos processos climáticos e erosivos que afetam.

Também por isso, existem partes do arenito Açú projetados dentro do canal do Rio Quixeré, se mostrando mais resistente do que o calcário Jandaíra responsável pela cornija da chapada. Essa diferenciação faz surgir uma superfície aplainada conservada em seu entorno imediato da escarpa oeste limitado pela planície fluvial. Nessa superfície onde aflora o arenito Açú, foram encontrados espécimes de titanossauro (BARBOSA *et al.* 2018), reafirmando assim sua relevância científica.

Sua morfologia é largamente condicionada pelas estruturas produzidas pelas deformações cretácicas, comportando uma superfície rebaixada com inselbergs e incorporando os elementos de uma superfície pré-cenomaniana exumada (na periferia da Bacia Potiguar), assim como extensos apêndices que se estendem em direção ao interior (PEULVAST & SALES, 2002; 2004) como observado na Figura 7.

Figura 7 – Contato entre a Chapada do Apodi (A) e os inselbergs (B). Notar a ruptura topográfica que distingue o platô sedimentar das feições graníticas.



Fonte: acervo do autor.

Tem em seu platô a ocorrência de Cambissolos Háplicos, oriundo de rochas calcárias (EMBRAPA, 1999). Na superfície aplainada registram os Vertissolos Háplicos desenvolvidos em superfície plana a suave ondulado do substrato de arenito e calcário. A vegetação caatinga do sedimentar ou carrasco é predominante (MORO *et al.* 2015), com porte

arbóreo em áreas ainda conservadas que não sofreram supressão para a instalação de atividades econômicas.

### **4.3 O embasamento cristalino e os relevos graníticos.**

Após o soerguimento da bacia sedimentar, as escarpas do Chapada do Apodi têm sofrido um processo de recuo lateral. Essa ação tem submetido aos corpos graníticos, outrora encobertos pela sedimentação cretácea da bacia potiguar, uma segunda exumação resultando no surgimento de paleoformas de relevos pré-cretácicas através do aplainamento das superfícies.

Os relevos graníticos em exumação ocorrem em alguns afloramentos na margem lestes do Rio Quixeré e dentro do canal atual do rio. Descritos por Maia (2005) como Inselberg Quixeré, sua evolução se dá em um primeiro momento com a sedimentação Cretácea envolvendo os corpos graníticos com sedimentos da formação Açu e Jandaíra, para posteriormente por erosão lateral, a bacia ter suas bordas erodidas por recuo de vertente através dos processos exógenos.

Com referência na CPRM (2014), o corpo granítico é datado em 650 Ma AP e apresenta textura porfírica advinda de um magma calcialcalino rico em potássio, apresentando cristais bem desenvolvidos de feldspato e algumas feições de faturamento, além de feições de pontuais de enclaves máficos. De litologia granítica e séries alcalinas, (granodiorito, diorito) compõe o domínio dos complexos de granitóides deformados da suíte intrusiva Itaporanga. Não dobrada e pouco a moderadamente fraturada, sua deformação tem características rúptil/dúctil, apresenta uma porosidade baixa (0 a 15%), com declividade de 25° a 45°.

Como citado anteriormente, há o registro de alguns afloramentos graníticos nessa área, diversificando a variabilidade das formas entre os terrenos sedimentares. O afloramento principal sustenta a forma de inselbergs, com uma extensão de aproximadamente 4,5 km e cotas que atingem aproximadamente 130m de altitude. Os inselbergs são feições formadas por rochas mais resistentes ao intemperismo e erosão do que aquelas que compõem a superfície rebaixada (TWIDALE, 1998).

Predomina uma vegetação rupícola em função dos Neossolos Litólicos (MORO *et al.* 2015) com ocorrências de bromélias e cactáceas como pode ser observado na Figura 8. Contudo, há registro de espécies com porte arbóreo como a imburana (*Commiphora*

*leptophloeos*) instalada em fraturas onde há maior expressão do regolito.

É também nesse aspecto um ambiente peculiar de caatinga, por sua localização entre a mata ciliar com carnaúba da planície do Rio Jaguaribe e a caatinga do sedimentar ou carrasco da Chapada do Apodi.

Figura 8 – Relevos graníticos com vegetação rupícola entre a Chapada do Apodi e a Planície do Rio Jaguaribe.



Fonte: acervo do autor.

Conforme Migón (2006d), não existe uma paisagem granítica “padrão”, existindo muitas formas e microformas que podem ser significativamente diferentes, mesmo quando localizadas de forma adjacente uma da outra (TWIDALE, 1982).

Contudo, a durabilidade aparente do granito e sua capacidade de suportar altos esforços de compressão e de tração foram utilizadas para sustentar a afirmação de que as formas de relevo graníticas, uma vez formadas em condições ambientais distintas, podem sobreviver a muitas mudanças ambientais subsequentes (MIGÓN, 2006d).

Atualmente a concepção de duplo aplainamento é a mais aceita para explicar a exumação e o desenvolvimento dessas formas de relevo (TWIDALE, 2002), pois cada vez mais tem se reconhecido que os componentes que regem a evolução associada aos campos de inselbergs estão relacionados a processos que ocorrem na base do regolito e não apenas em superfície (TWIDALE, 2002). Dessa forma, os inselbergs constituem um remanescente de erosão que pode fornecer informações importantes sobre a evolução geomorfológica dos terrenos em que ocorrem (MATMON *et al.* 2013).

#### 4.4 Contexto geomorfológico

A caracterização morfométrica indica a dissecação da paisagem mediante o processo erosivo natural e do padrão de drenagem de cada área, considerando os aspectos do relevo e da rede de drenagem (COSTA, 2015). Com isso, declividade e hipsometria são elementos fundamentais para o entendimento do relevo da área em estudo ao indicarem possíveis respostas litológicas aos processos intempéricos o longo do tempo.

De acordo com Casseti (1994), a declividade é todo e qualquer grau de inclinação que a superfície terrestre apresenta em relação a um eixo horizontal. A declividade dos terrenos pode variar de acordo com o tipo de solo, rocha ou de acordo com as intervenções antrópicas ocorridas, tais como cortes e aterros e seus valores podem ser apresentados em graus ou porcentagens (SINAGEO, 2018b). Dados morfométricos são frequentemente utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas, relevos de encosta, densidades de drenagem e para determinar áreas ambientalmente frágeis. A distribuição das classes de declividade pode ser observada no Quadro 3

Quadro 3 – Classes de declividade.

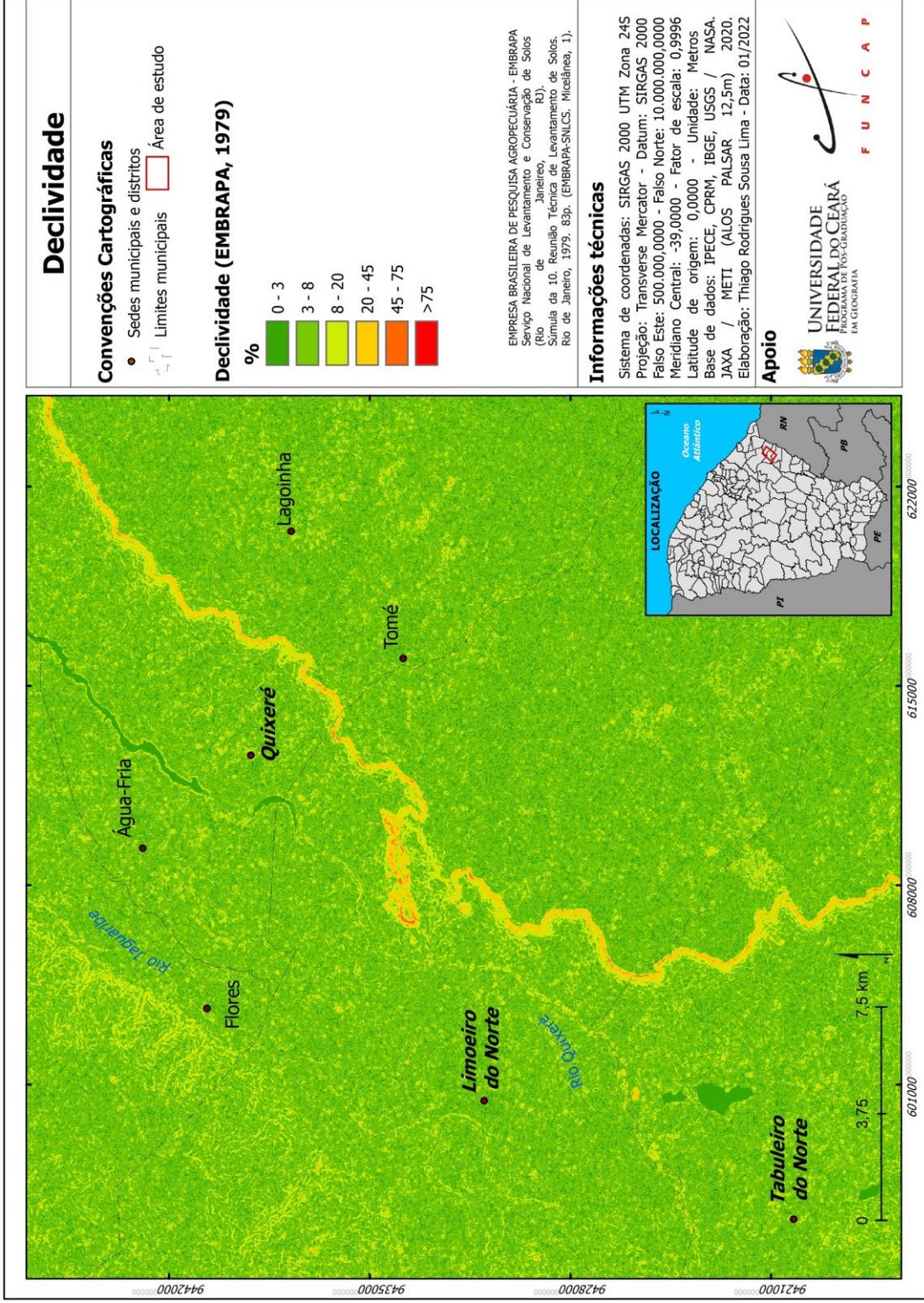
<b>Declividade (%)</b>	<b>Relevo</b>
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave-ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte-ondulado
45 – 75	Montanhoso
>75	Forte-Montanhoso

Fonte: adaptado de EMBRAPA, 1979.

Assim, a interação dos elementos da paisagem pode ser observada através da declividade (Figura 9). No geral, na área de estudo prevalece relevos com declividades discretas fruto de processos agradacionais e deposicionais. Enquanto na planície fluvial predomina o relevo plano, os afloramentos graníticos exibem um sobressalto topográfico na paisagem tendo em suas encostas declividades entre 45 – 75%. A superfície aplainada do Apodi já demonstra um perfil ondulado fruto da dissecação pela drenagem obsequente oriunda da escarpa, que por sua vez, apresenta forte ruptura topográfica condicionando

padrões de relevo montanhoso. Ao galgar o platô do planalto, retoma-se a monotonia topográfica sobressaindo declividades em 0 – 3%. Portanto a área de maior dinâmica dos processos geomorfológicos acontece no contato entre a escarpa da chapada do Apodi, dos relevos granitos e a planície fluvial.

Figura 9 – Declividade da área de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

As condicionantes hipsométricas reafirmam as análises da declividade. Além do levantamento hipsométrico conter importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude (TRENTIN; ROBAINA, 2005 apud LANDIM NETO; GORAYEB; PEREIRA FILHO; SILVA, 2015).

Na área em evidência as cotas altimétricas variam entre 157m e 10m em uma curta distância linear. As maiores cotas ocorrem no platô da Chapada do Apodi em trechos mais distantes da escarpa, no sentido leste no reverso da cuesta, chegando até aproximadamente 150m. Nas superfícies no derredor da escarpa, as cotas respondem como um ambiente transicional, sendo evidentes e homogêneas com decaimento no sentido da planície fluvial variando entre aproximadamente 85m e 25m.

A influência dos afloramentos graníticos na paisagem fica evidente com o mapa hipsométrico, ao comparar sua elevada altimetria e sua posição atual em relação a escarpa. Se promovendo como um obstáculo aos sedimentos que desprendem da escarpa em direção ao rio e um empecilho na drenagem do fluxo do rio Quixeré. Suas cotas variam abruptamente chegando alcançando 130m de elevação máxima.

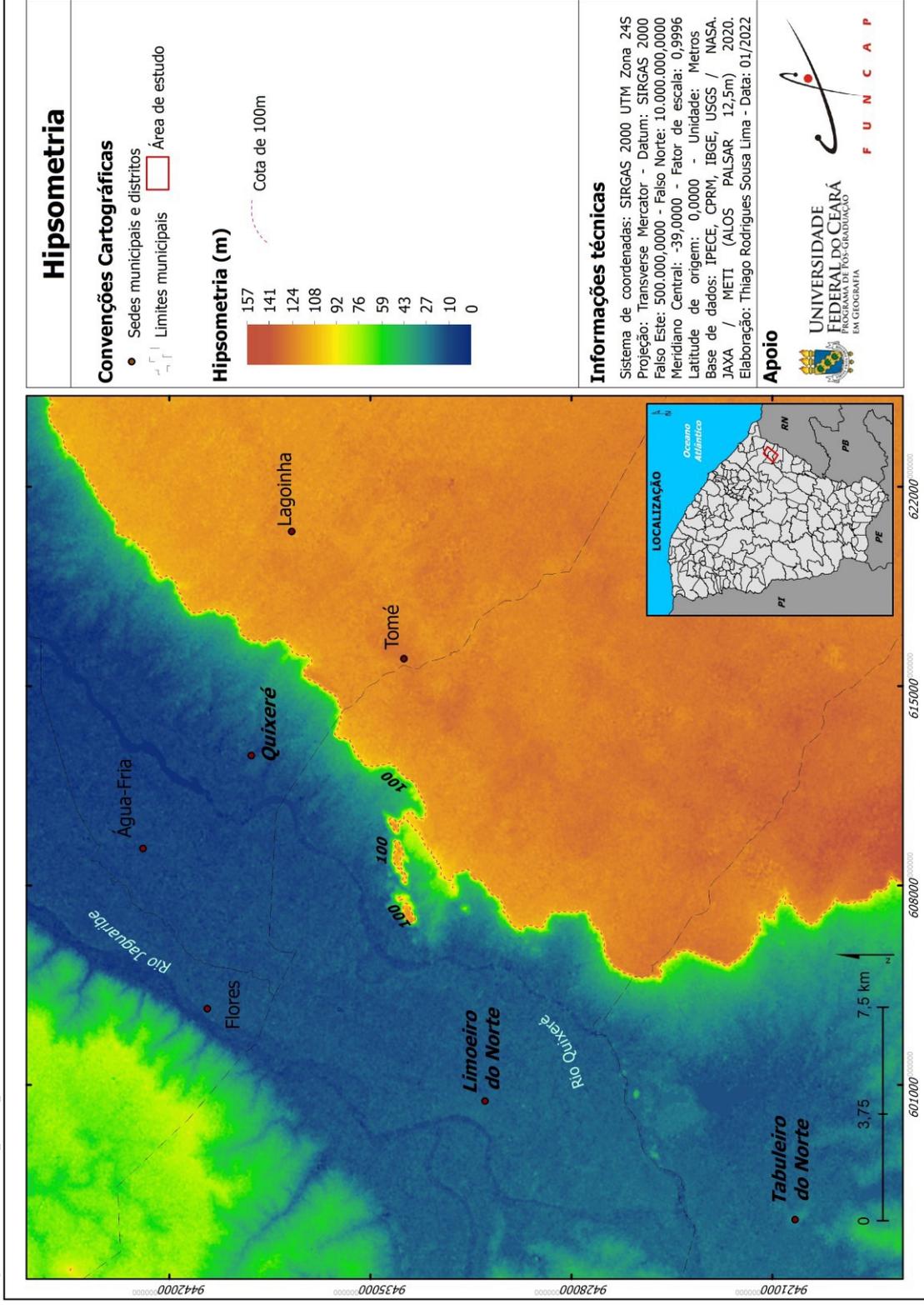
A planície fluvial por sua vez, se quer atinge cotas maiores que 30m. Limitada em um vale morfologicamente configurado tem valores entre 6m e 25m, similares em toda sua área de inundação e migração do canal.

Com cursos d'água bem delimitados também é possível a partir do mapa a seguir, espacializar e quantificar algumas feições da dinâmica fluvial como cabeceiras de drenagens, meandros, bancos de areia, entre outras feições. Contudo, como objetivo do trabalho a interação entre as formas de relevo e suas principais respostas na paisagem é o principal produto.

Dessa forma a partir da cota de 100m que delimita a escarpa da chapada e a cota mínima que secciona os canais fluviais, o degradê de cores no Mapa Hipsométrico da Figura 10 foi pensado para tornar inequívoco o fluxo de matéria e energia que ocorre entre as unidades, fruto dos processos climáticos que promovem desde o recuo lateral da escarpa e a dissecação dos relevos graníticos.

Cabe também observar a diferença na distribuição altimétrica entre toda a superfície aplainada próximo a escarpa e o trecho posterior aos afloramentos graníticos com desnível mais gradual, é resposta ao acúmulo de sedimentos oriundos da chapada do Apodi que por aclave topográfico promovido pelos inselbergs, o rio Quixeré que não alcança.

Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Dada a contextualização, as unidades geomorfológicas puderam ser delimitadas considerando a diversidade de formas e processos, tendo como base Brandão e Freitas (2014) no mapeamento da geodiversidade do Ceará. Embora haja a ocorrência de 6 unidades, apenas 4 são diretamente abrangidas pelo presente estudo, sendo elas a planície fluvial, a Chapada do Apodi, a superfície aplainada conservada e os inselbergs; as outras duas restantes são os tabuleiros interiores e a superfície aplainada degradada.

As duas últimas possuem dados importantes à compreensão da dinâmica geomorfológica e geoambiental do baixo Jaguaribe. Os tabuleiros interiores foram pontualmente estudados por Silva (2017) e Costa *et al.* (2021).

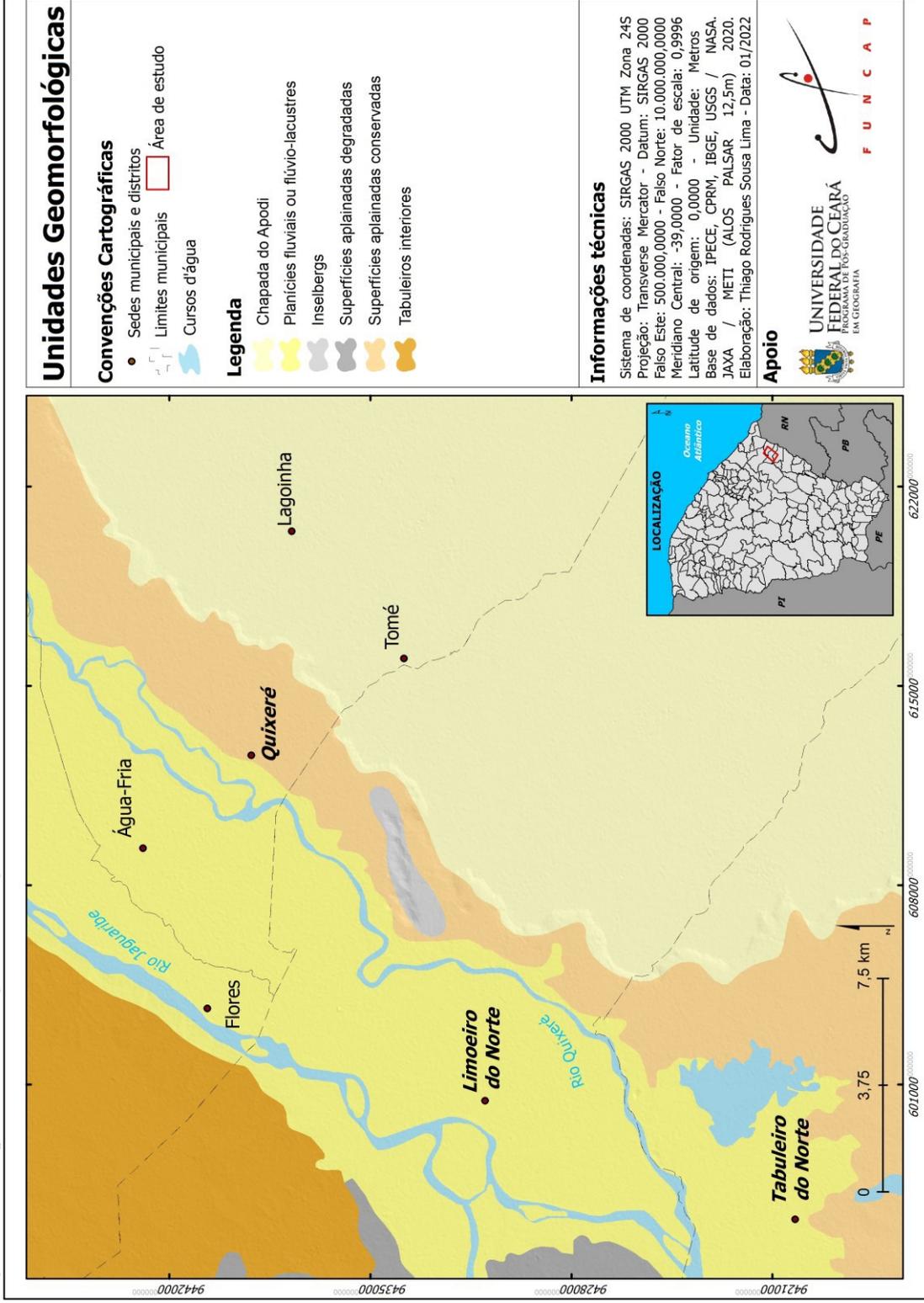
Sobre as superfícies aplainadas degradadas Brandão e Freitas (2014) pontuam que correspondem as unidades da depressão sertaneja, amplamente divulgada em estudos sobre o interior do estado do Ceará, por seu amplo predomínio espacial e suas características morfogenéticas, resultante de uma prolongada atuação dos processos erosivos e denudacionais sobre embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano (AB'SABER, 1969, 1974; MABESOONE, 1978, SOUZA *et al.* 1988, PEULVAST *et al.* 2004, CLAUDINO SALES; PEULVAST, 2007, FUNCEME, 2009).

Ao que importa no presente trabalho e tendo em vista que o texto construído até aqui, pontuando a espacialização geográfica das unidades, esse tópico se propõe a situar temporalmente cada uma das unidades geomorfológicas em ordem geocronológica. Dessa forma, analisado os processos e as unidades, têm-se do mais recente ao mais antigo: a planície fluvial, a superfície aplainada conservada, os relevos graníticos e a chapada do Apodi.

Essa delimitação temporal é o que torna os relevos graníticos da área de estudo, ponto crucial e valoroso na geomorfologia local. Observar inselbergs graníticos com início da exumação no final do Cretáceo difere de grande parte do contexto das superfícies aplainadas que resultam nessas formas graníticas no nordeste brasileiro.

A Figura 11 a seguir traz informações sobre as unidades geomorfológicas e suas ocorrências no espaço geográfico. Como já descrito, a área de estudo se delimita no inselbergs graníticos e o seu entorno imediato, abarcando a planície fluvial e a chapada do Apodi. Propõem-se identificar, analisar e descrever todas as formas possíveis desse setor que contém alta dinâmica geomorfológica e variadas formas de relevo em uma pequena área.

Figura 11 – Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo.



Fonte: elaboração do autor, 2022.

O entendimento do clima da área de estudo é indispensável, uma vez que, enquanto agente externo na formação do relevo desempenha um papel fundamental através do intemperismo e erosão na elaboração da morfologia da superfície terrestre. Atualmente, o clima predominante na área de estudo é o tropical semiárido (Nimer, 1977). Caracterizado por curtos períodos de chuvas, geralmente 3 a 4 meses por ano, variados com longos períodos de estiagem. Com uma temperatura média entre 22 e 26, variando de acordo com a altitude, tem uma pluviosidade em torno de 650 mm, chegando a atingir 1.250mm no litoral ou em regiões serranas com características de barlavento.

Porém, levando em conta os estudos de Bigarella (1994) ao correlacionar as paisagens tropicais, com processos de morfogênese, pedogênese dada a variação climática, cabe ressaltar que a caracterização paleoclimática é de suma importância aos estudos geomorfológicos.

Dessa forma diversos trabalhos paleoambientais foram tomados como referência para atestar essa variabilidade climática, natural, oriunda dos ciclos orbitais entendidos na teoria de Milankovitch (1920).

Uma perspectiva climática tem sido, desde então, utilizada para explicar a presença de feições policíclicas na paisagem. Uma sucessão de climas úmidos e semiáridos é responsável pela evolução da paisagem, pelo menos durante o Quaternário (BIGARELLA *et al.* 2021). Durante as fases úmidas uma predominância da erosão linear originaria a principal dissecação do relevo, enquanto as fases semiáridas seriam responsáveis pelo desenvolvimento de superfícies de pedimentação, durante as glaciações pleistocênicas BIGARELLA *et al.* 2021).

Ainda Bigarella *et al.* (2021), conclui ao pontuar que climas úmidos ocorreriam nos períodos interglaciais e os semiáridos corresponderiam aos períodos glaciais, essa variação climática afetaria diretamente os processos atuantes sobre os relevos promovendo a interface pedogênese/morfogênese.

Shackleton (1987 apud Meireles 2014, p. 29) analisando testemunhos de gelo e do substrato oceânico definiu 9 eventos glaciais e 10 interglaciais nos últimos 700.000 anos. Através da datação de perfis de intemperismo Lima (2008), indica que durante o período de 16-7 Ma AP no mioceno, a região do interior do (planalto da Borborema) e do litoral (planícies e tabuleiros costeiros) estavam sob um clima quente e úmido.

Mesmo com a grande produção de estudos sobre paleoclimas no nordeste brasileiro, é consenso a escassez de dados e a presença de lacunas na linha do tempo para a interpretação da sucessão climática. Assim, foi tomado como referência também estudos

paleontológicos onde fósseis foram usados como bioindicadores de paleoclimas.

A partir do Jurássico Superior  $\cong$  160 Ma AP, com o início do processo de estiramento crustal, surgiam as primeiras bacias sedimentares no interior nordestino. Concomitantemente, as condições climáticas teriam também passado por modificações de um clima quente e seco para um clima quente e úmido (CARVALHO *et al.* 2014).

O estabelecimento de vários sistemas flúvio-lacustres nas diferentes depressões recém-formadas em toda a Província Borborema teria sido a principal causa desta transformação climática (Carvalho *et al.* 2002). Também por isso, passagem do jurássico para o cretáceo inferior  $\cong$  145 Ma AP é fundamental para o entendimento da dinâmica ambiental.

Evidências geológicas e paleontológicas atestam à existência de um clima quente no decorrer do período Cretáceo, havendo no nordeste brasileiro uma tendência à aridez, atestada pela ocorrência de evaporitos entre as camadas sedimentares das fossas tectônicas existentes (MARTINS-NETO, 2006).

Ainda Martins-Neto (2006) analisando a paleoentomofauna caracteriza o para o nordeste do Brasil, no cretáceo inferior um clima seco, tendendo a aridez e localmente tropical úmido. O mesmo autor ainda indica que a extinção em massa de vários grupos no Triássico é forte argumento para a ocorrência de drásticas mudanças climáticas e ambientais (MARTINS-NETO, 2006).

As mudanças climáticas são as responsáveis pelo aspecto policíclico da paisagem, originado através da mudança nos processos morfogenéticos atuantes nas vertentes (BIGARELLA *et al.* 2021).

Ainda Bigarella (2021) atesta que a transição das condições semiáridas para as úmidas tanto pode ser para uma nova e longa fase úmida como apenas uma curta flutuação para a umidade dentro da fase climática semiárida. No primeiro caso há uma mudança radical no desenvolvimento da paisagem.

Entram em funcionamento processos de alteração química, estabelecendo-se a erosão linear, responsável pela dissecação do terreno. Com relação ao segundo caso as consequências podem ser inferidas, não havendo, entretanto, evidências nítidas na paisagem (BIGARELLA *et al.* 2021).

Portanto, para o entendimento da evolução da morfogênese, o clima deve ser visto como um fator mutável ao longo do tempo, em especial para a área de estudo em questão, tendo que considerar desde o início da separação Brasil-África e teorizar sobre as diversas mudanças climáticas decorrentes desde esse período até o presente, responsáveis por modelar a paisagem juntamente com a atividade tectônica.

## 5 RESULTADOS

Processados os dados primários coletados em campo, bem como dados produzidos no ambiente SIG, atrelado as pesquisas bibliográficas obteve-se respostas que fomentam o debate geomorfológico em escala que permite, além de evidenciar, caracterizar as feições presentes na área de estudo através do entendimento de processos geomorfológicos atuantes na área. Para uma melhor sistematização dos dados, os resultados estão organizados em itens que retratam as interações morfogenéticas no recorte em questão, onde, embora integrados, exibem relevos e processos distintos. Nota-se que pela resposta do MDT, diversas feições geomorfológicas que apontam potencial para uma análise mais aprofundada por conta de sua “anomalia” topográfica. Os processos intempéricos e erosivos resultam em padrões diferentes a depender da litologia e de outras particularidades presentes no recorte da paisagem.

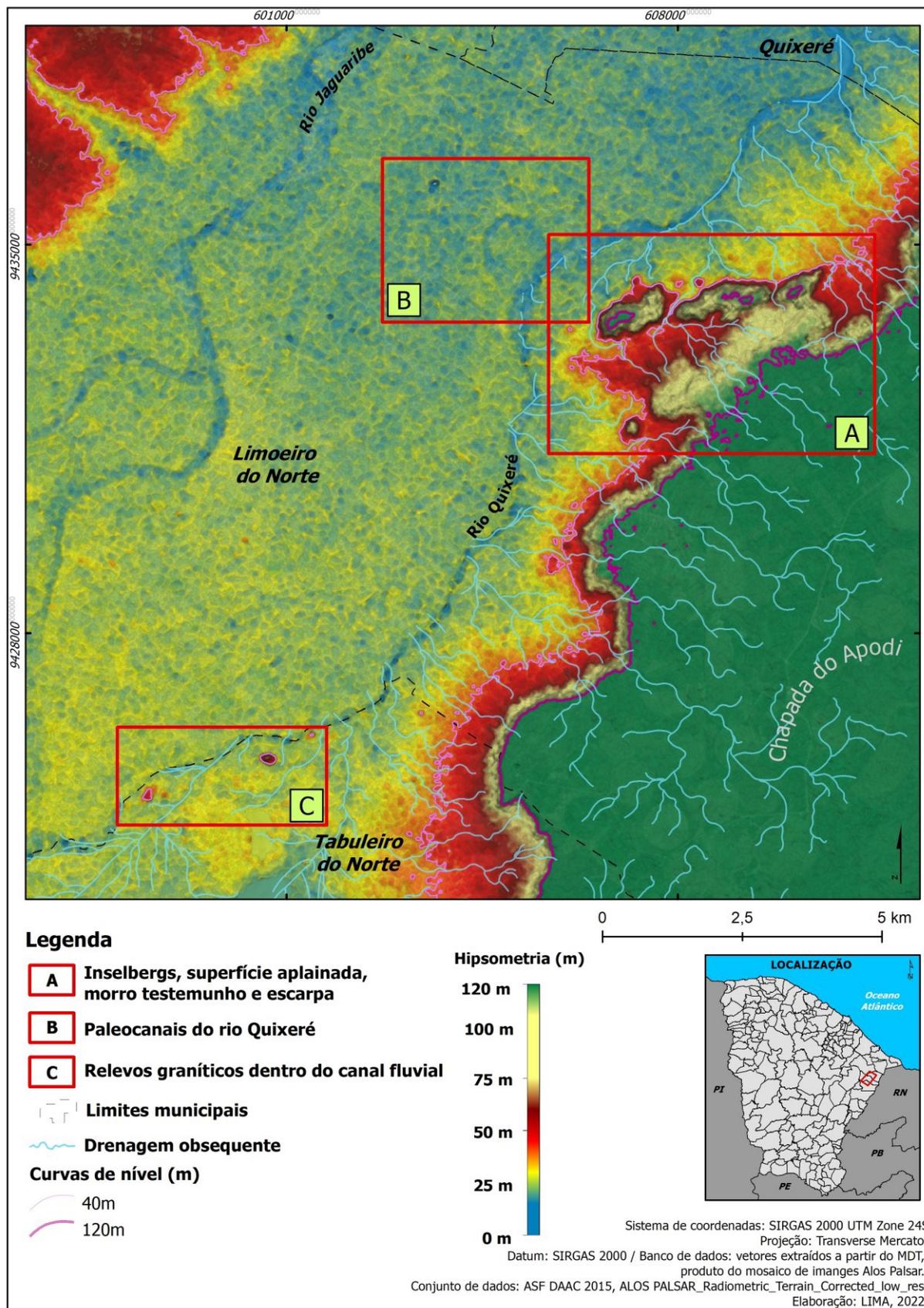
Os retângulos A, B e C na Figura 12 exibem as principais formas identificadas pela metodologia aplicada na área em estudo, que em conjunto com os levantamentos em campo para identificação das litologias e microformas, possibilitaram o esboço detalhado da evolução da área. Foram identificadas feições do processo da geomorfologia fluvial, evolução de vertentes, superfícies de aplainamento e padrões de drenagens, além das formas graníticas que foram baseadas a partir Maia *et al* (2018) para as paisagens no nordeste brasileiro. A Figura 12 traz os resultados do processamento do mosaico nas imagens alos palar.

No setor A, principal área de interação das formas, ocorre o afloramento Quixeré em contato direto com a escarpa da chapada do Apodi e desempenhando influência sobre a drenagem do atual canal do Rio Quixeré. Nesse intervalo podem ser identificadas desde paleocanais, morros testemunho e macroformas graníticas como inselbergs e lajedos, além de microformas graníticas caos de blocos, *boulders*, *poligonal cracking* e *split rock*.

No retângulo B, as feições oriundas da drenagem se sobressaem em relação as demais. A presenta de paleodrenagem guardam respostas fundamentais para o entendimento da migração do canal fluvial. Bancos de areia, barras, ilhas fluvias e drenagens abandonadas são algumas das feições encontradas nesse trecho.

Por fim, no recorte C, os afloramentos nas margens do canal fluvial são identificados dado processamento. Trata-se de um conjunto de relevos graníticos com variadas feições interagindo diretamente com o canal fluvial, resultando em feições pontuais que representam um estágio de formação inicial das microformas graníticas como os *castle koppies*, *tors* e *boulders*.

Figura 12 – Identificação de feições geomorfológicas pelo processamento do MDT.



Fonte: elaborado pelo autor.

A migração do canal a leste, no sentido da escarpa do Planalto do Apodi, pode ser constatada em alguns trechos no baixo curso do Rio Jaguaribe. Maia (2005) indica que tal ocorrência se justifica pelo embasamento cristalino que decai sentido ao centro da bacia potiguar. Silva (2017) corrobora em considerar que o mergulho das camadas da superfície exumada, segue o sentido de inclinação para o centro da bacia potiguar, ou seja, a leste.

Tal alteração na drenagem pode ser constatada pela identificação de paleocanais que deixaram seus registros na paisagem no sentido W-E. Esses paleocanais são evidências da migração do atual Rio Quixeré, afluente do Rio Jaguaribe, que surge após a bifurcação do canal principal entre os municípios de Tabuleiro do Norte e Limoeiro do Norte.

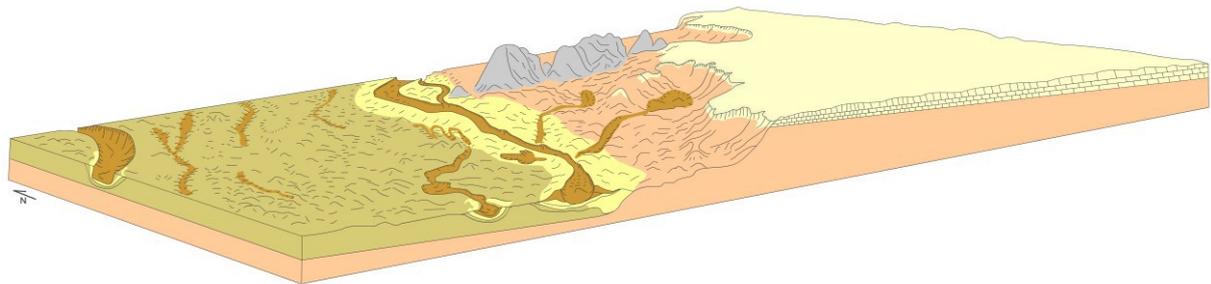
Além disso, a ausência de expressivos morros testemunhos da Chapada do Apodi, a concentração de depósitos com sedimentos fluviais nas margens do canal e o Rio Quixeré em alguns trechos percorrendo sobre os arenitos da formação açu são marcas na paisagem do sentido tomado pelo rio. O Rio Quixeré, além de ser o principal canal responsável pela drenagem das águas do Rio Jaguaribe nesse setor, é também incumbido por transportar os sedimentos erodidos pela drenagem obsequente oriunda da escarpa da Chapada do Apodi

Essa drenagem é responsável por promover o recuo lateral da escarpa no planalto sedimentar em questão. Tal recuo tende a ser mais expressivo em trechos da chapada que além da predominância de rochas carbonáticas na escarpa, a drenagem obsequente não encontra obstáculos até o atual canal do Rio Quixeré. Como resultado desses processos, setores em que a cornija apresenta uma concentração maior do calcário Jandaíra, mais solúvel que o arenito Açú sotoposto, tende dissolver com mais facilidade promovendo o recuo lateral.

A distribuição heterogênea das litologias, aponta uma diferenciação na morfologia e no padrão de drenagem ao longo de toda a escarpa oeste da Chapada do Apodi. Setores onde exibem cabeceiras convexas, indicam litologias mais resistentes e uma drenagem obsequente mais dispersa, já cabeceiras côncavas, ocorre quando as rochas mais solúveis são acometidas pelos processos intempéricos com intensidade promovendo um pequeno arco que concentra a drenagem, sendo mais incipiente para desencadear processos erosivos.

Essa alternância promove um recuo desigual nas camadas expostas surgindo uma escarpa irregular e uma superfície com sedimentos do arenito cretáceo. Essa superfície com o domínio de sedimentos quartzoarenosos expõe pontas/flechas que interferem na dinâmica da migração do canal, fazendo com que em alguns trechos o rio percorra sobre a camada basal da Chapada do Apodi. O bloco diagrama ilustrativo (Figura 13) traz a representação tridimensional sob escala proporcional a real, da área A e B, distinguindo as litologias e as diversas formas presentes na área.

Figura 13 – Bloco diagrama da área de estudo.

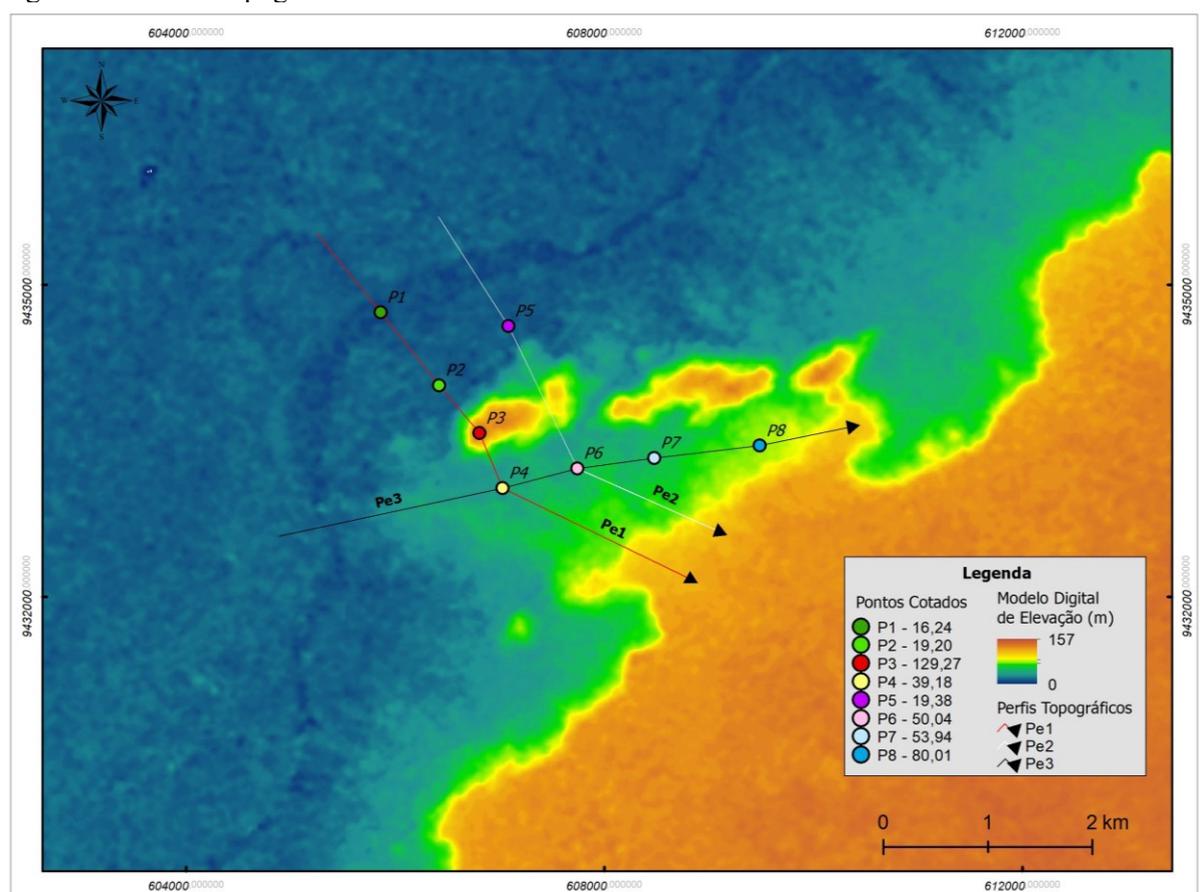


Arenito açu    Calcário jandaíra    Feições graníticas    Sedimentos fluviais

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

O enfoque nessas áreas permite o maior detalhamento das feições bem como a visualização das interações com as unidades geomorfológicas no que diz respeito a evolução da área. A relação entre os inselbergs e os processos decorrentes da Chapada do Apodi e do canal fluvial foram delineados a partir do traçado de perfis topográficos orientados pelos pontos cotados coletados em campo como observado na Figura 14.

Figura 14 – Perfis topográficos analisados



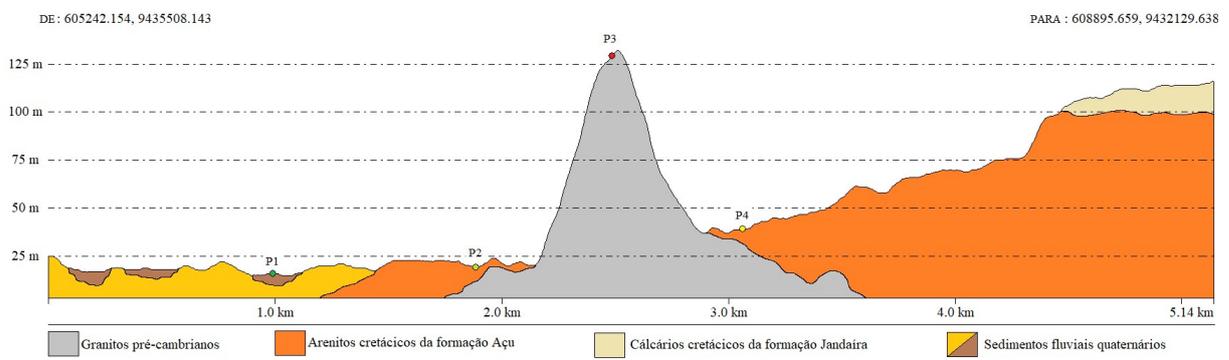
Fonte: elaborado pelo autor.

Os perfis apontam respostas que reafirmam a função de obstáculo das formas graníticas, dessa vez para a drenagem obsequente responsável pelo recuo lateral da escarpa da Chapada do Apodi. Ainda, obstáculo na migração do canal fluvial para leste e a preservação

de morros testemunho da chapada do Apodi, sendo essa última, morfologia de exceção na superfície aplainada por conta dos processos erosivos decorrentes do vale do Jaguaribe.

O perfil 1 na Figura 15, traz a diferença das cotas da superfície aplainada conservada em que aflora a formação Açú e acumulam os demais sedimentos trazidos pela escarpa. Sendo de aproximadamente 80m no setor entre os inselbergs e a escarpa, enquanto na zona entre os inselbergs a planície, os arenitos dividem a paisagem com o canal fluvial e seus sedimentos na cota 25m.

Figura 15 – Perfil 1 – Planície fluvial, inselberg Quixeré e escarpa da Chapada do Apodi.



Fonte: elaborado pelo autor.

Esse desnível na topografia se explica pelo acúmulo de material transportado pelas drenagens obsequentes que não conseguem chegar ao nível de base local por conta dos afloramentos graníticos. Assim, constituindo uma superfície que preserva formas do recuo lateral da chapada do Apodi com afloramentos do arenito Açú em cotas elevadas.

Ao passo em que esses relevos graníticos se projetam como obstáculo para a migração do canal ao leste, contribuem para que os sedimentos oriundos do recuo lateral da escarpa sejam acumulados nesse setor.

O Modelo Digital do Terreno (MDT) atrelado a paisagem identificada em campo permite o entendimento dos processos e o comportamento dos padrões deposicionais e de dissecação. No setor entre a planície fluvial e os inselbergs, entre o P1 ou P2, ocorre ainda, mesmo que já nas proximidades dos relevos graníticos a presença da vegetação ribeirinha.

A relação entre as unidades geomorfológicas na paisagem influencia diretamente na vegetação fazendo com que seja um dos mais sensíveis indicadores dos processos atuantes. Ainda na análise do perfil 1, entre o P1, onde passa o atual canal fluvial e estão os bancos de areia do depósito fluvial, para o P2, já na transição entre os terraços fluviais, afloramentos graníticos e a ocorrência do arenito açú, identifica-se na paisagem vegetação ribeirinha

decorrente da influência da planície nas demais formas de relevo.

Bastante antropizado, esse setor se caracteriza por resquícios do carnaubal intercalados com diversas atividades econômicas, desde as mais rústicas como o extrativismo e a agropecuária e a produção de camarão em tanques de carcinicultura, presente nas margens do rio Quixeré. A Figura 16 traz amostras de parte do carnaubal (*Copernicia prunifera*) no sopé dos inselbergs dividindo a paisagem com vegetação arbustiva da caatinga.

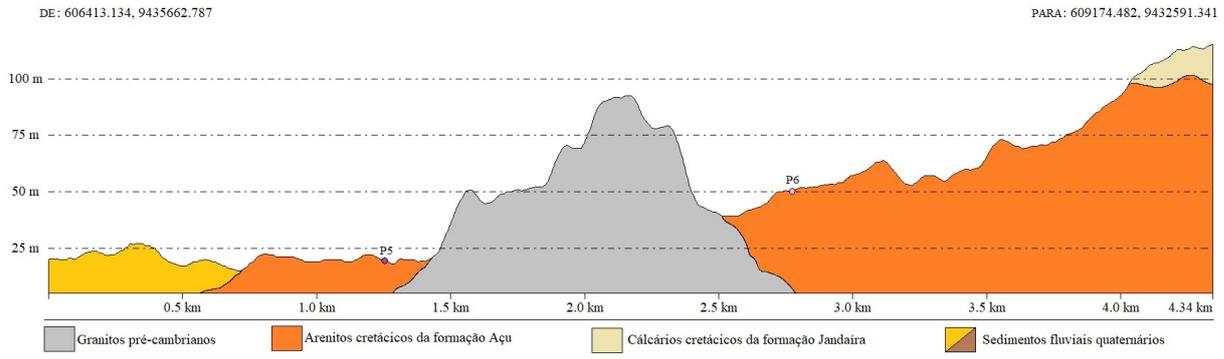
Figura 16 – Carnaubal e vegetação arbustiva próximo aos afloramentos graníticos no trecho entre o rio Quixeré e os inselbergs.



Fonte: do autor.

Por vez, o perfil 2 aponta cotas mais rebaixadas em um dos inselbergs do afloramento Quixeré, resultante de dissecação decorrente dos fraturamentos estruturais. Esse perfil serve de exemplo para salientar que os relevos graníticos estão sofrendo uma segunda exumação, dessa vez dos sedimentos cretácicos da bacia potiguar e conseqüentemente expostos aos processos intempéricos responsáveis por modelar as microfeições em relevos dos graníticos. O trecho entre os inselbergs e os relevos graníticos apresenta um acumulo de sedimentos acarretado pela função de obstáculo dos afloramentos como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Perfil 2 – As cotas indicam o relevo granítico como obstáculo aos sedimentos oriundos do recuo lateral da escarpa da Chapada do Apodi.



Fonte: elaborado pelo autor.

O sistema de drenagem obsequente proveniente da escarpa buscando o nível de base local seccionou (Figura 18) os inselbergs fazendo surgir as fraturas que estavam encobertas pelos sedimentos cretácicos da bacia potiguar, assim, configurando o conjunto de inselbergs.

Figura 18 – Drenagem obsequente dissecando os relevos graníticos rumo a planície fluvial do Rio Jaguaribe. Observar a formação de caos de blocos nas encostas dos inselbergs, configurando a morfologia de grus.



Fonte: acervo do autor.

De acordo com Migón (2006b), as fraturas se formam em resposta ao estresse imposto sobre uma massa rochosa e indicam que a força do material era insuficiente para

suportar o estresse.

O avanço da esfoliação, processo lento e contínuo, proporciona instabilidade, ocorrendo o desprendimento de placas rochosas que colapsam e originam depósitos residuais grosseiros do tipo caos de blocos na base dos *bornhardts* (CAMPBELL, 1997; MIGÓN, 2006b).

Para além disso, esse trecho preserva o contato entre os relevos graníticos e os vestígios da escarpa da chapada do Apodi. A presença de cotas ainda mais elevadas permite identificar a manutenção das formas de morro testemunho da escarpa do Apodi, relevo incomum no setor da escarpa sudoeste por conta dos intensos processos erosivos presentes na planície fluvial do vale do Jaguaribe. A Figura 19 traz a variedade de superfícies no trecho entre os relevos graníticos e a chapada do Apodi. Observar o tracejado, onde o traço branco representa a superfície dos inselbergs, traço amarelo para o morro testemunho e o vermelho para a atual escarpa da chapada do Apodi.

Figura 19 – Compartimentação topográfica das superfícies no trecho entre os inselbergs e a escarpa da chapada.

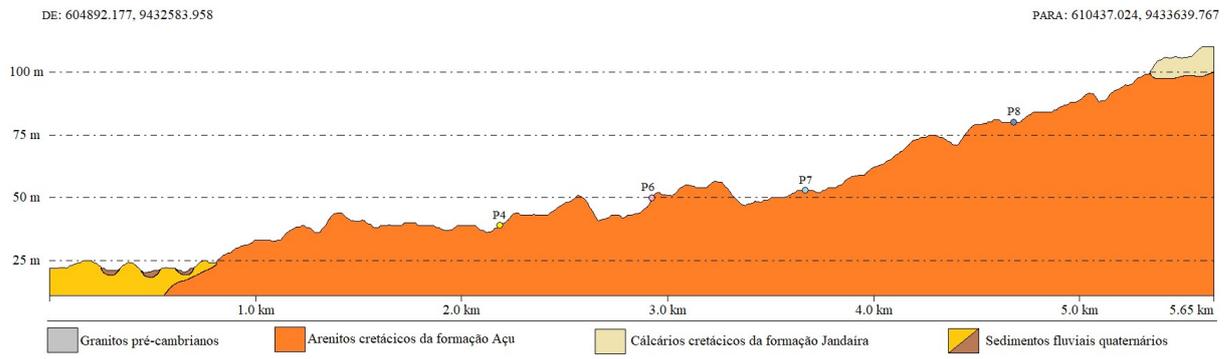


Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil 3 evidencia o percurso preferido pela drenagem obsequente. A drenagem oriunda da escarpa embora atravesse os inselbergs, prefere um trajeto de declividade mais suave em direção a planície, como o retratado nas cotas topográficas.

O escoamento superficial nesse setor produz incisivas drenagens sobre o afloramento dos arenitos da formação Açú, refletindo acentuado desnível representado pelos valores dos pontos p4, p6, p7 e p8 como pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Perfil 3 – De Oeste para Leste entre os afloramentos graníticos e a escarpa do Apodi.



Fonte: elaborado pelo autor.

Enquanto o setor planície-inselbergs é caracterizado pelo acúmulo de sedimentos fluviais e as feições expressivas da vegetação ribeirinha, em sua outra vertente, o setor inselbergs-planalto é marcado por uma elevada superfície sedimentar cretácica com significativa representação da vegetação caducifólia de porte arbóreo.

Os inselbergs promovem uma marcante distinção na paisagem a partir de suas cotas topográficas. Dessa forma, não há feições que apontem uma paleodrenagem do rio entre os relevos graníticos e os terrenos sedimentares da Chapada do Apodi, todavia, exibe uma área com efeitos da dissecação sobre o arenito Açú como observado na Figura 21.

Figura 21 – Superfície aplainada conservada no setor entre inselbergs e a chapada do Apodi. Notar o predomínio de afloramentos do arenito Açú.



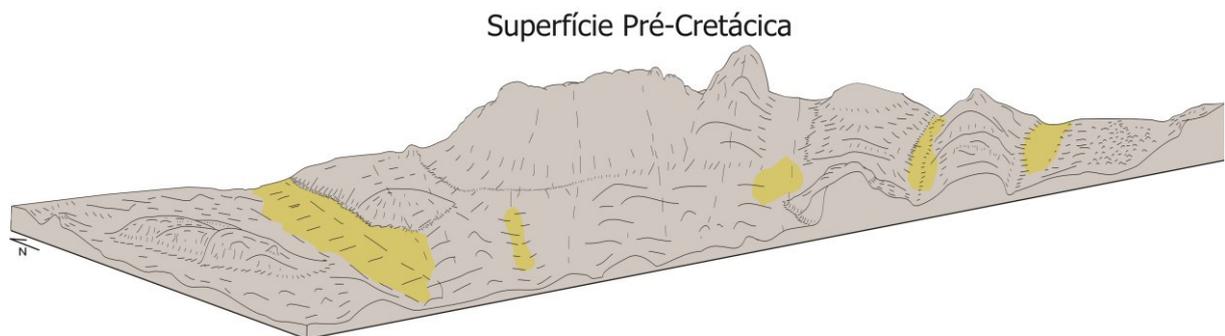
Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.1 Gênese e evolução da área de estudo

Dessa forma, conseguinte as etapas ocorridas e considerando as informações coletadas no levantamento na bibliografia, observação em campo e análise do MDT, pode-se propor uma sequência da evolução geomorfológica com enfoque morfoestrutural, morfogenético e geocronológico da área de estudo.

Iniciando no Mesozoico, no limiar entre o triássico e jurássico  $\cong 200$  Ma AP, frente ao início do estiramento crustal sofrido pela Gondwana, que levaria a abertura do oceano atlântico, os afloramentos graníticos já exumados de sua rocha encaixante são submetidos aos processos intempéricos configurando uma superfície pré-cretácica responsável pela modelagem inicial da forma como representado na Figura 22.

Figura 22 – Superfície pré-cretácica no limiar entre o Triássico/Jurássico  $\cong 200$  Ma AP.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em sequência a Figura 23, fruto das forças distensivas atuantes da separação Brasil/África ocorre o arcabouço estrutural do Jaguaribe e a abertura do rifte potiguar. O adentrar do mar cretácico promove a deposição sedimentar em torno da superfície granítica outrora exposta. Desse momento em diante, inicia-se a deposição das camadas sedimentares responsáveis pelo entulhamento do rifte, formação da bacia potiguar e preservação da forma de relevo granítico. Estima-se que o mar raso seguiu até o Campaniano  $\cong 72$  Ma AP.

Figura 23 – Abertura e entulhamento do rifte potiguar por sedimentos do mar cretácico.

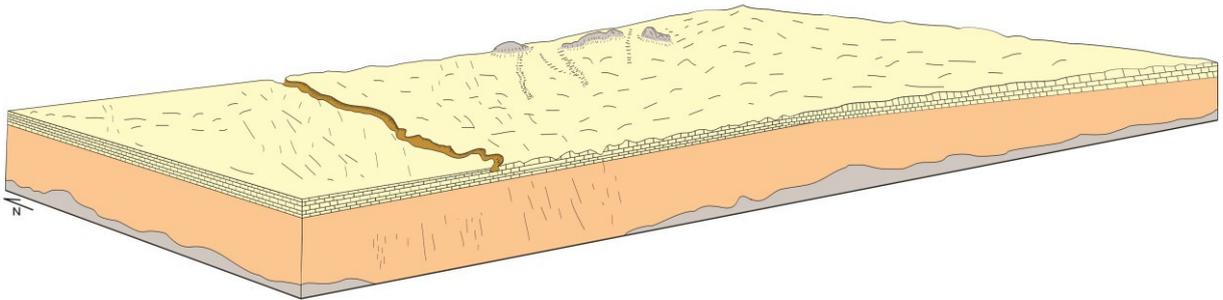


Fonte: elaborado pelo autor:

Ao fim do Cretáceo, no Maastrichiano  $\cong$  62 Ma AP, pós recuo do mar cretácico, ocorre a subsidência térmica da bacia potiguar e soerguimento das bordas resultando na formação da chapada. Ainda nesse período, inicia a calma tectônica divergente na margem atlântica da placa sul americana e o encaixe da rede de drenagem na estrutura do Jaguaribe como observado na Figura 24.

Figura 24 – Encaixe da rede de drenagem iniciando o vale do Jaguaribe e dissecação do pacote sedimentar da bacia potiguar.

#### Recuo do mar cretácico e formação da Bacia Potiguar

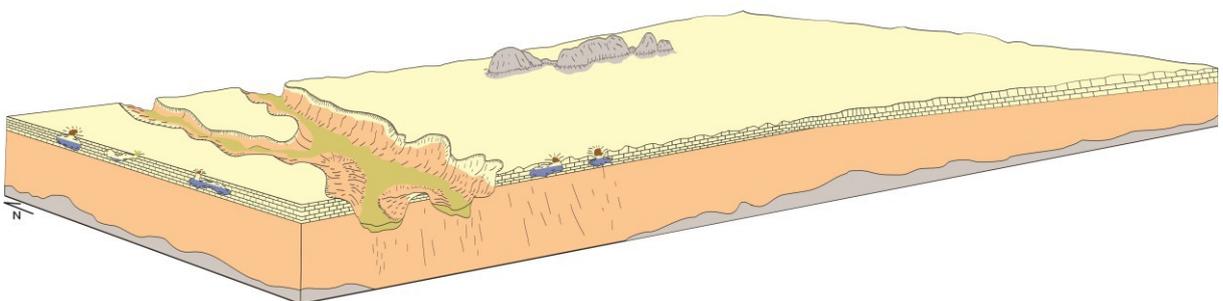


Fonte: elaborado pelo autor.

Os processos intempéricos e erosivos sobressaem a partir desse momento. As diversas alternâncias climáticas entre climas úmidos e secos são responsáveis pelo alargamento do vale, pelo recuo lateral da escarpa e pela dissecação dos granitos. Nesse momento, mesmo envolvidos nas camadas sedimentares, os relevos graníticos sofrem processos intempéricos em subsuperfície resultando em formas saprolíticas. A Chapada do Apodi e a planície fluvial são os elementos mais afetados nessa etapa, dada sua constituição sedimentar e o caráter friável de seus componentes litológicos como observado na Figura 25. Estima-se que esse processo ocorra do Paleoceno  $\cong$  66 Ma AP até o início do Quaternário  $\cong$  2,5 Ma AP.

Figura 25 – Aprofundamento do vale e constituição da escarpa da Chapada do Apodi.

#### Encaixe da rede de drenagem e formação da Chapada do Apodi

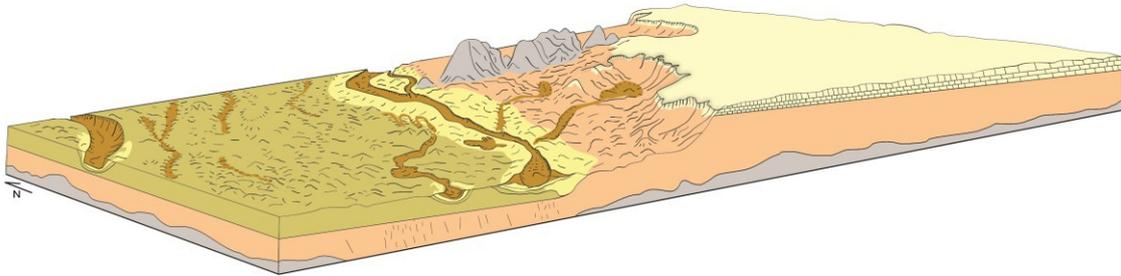


Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, resultando na paisagem atual como ilustra a Figura 26, fruto dos processos estritamente climáticos do Cenozoico. Os relevos graníticos são novamente exumados retomando sua morfologia de inselbergs, a planície fluvial se alarga dada à continua migração do canal e a chapada do Apodi recebe fortes impactos intempéricos em suas vertentes tendo sua escarpa cada vez mais retraída no sentido do centro da bacia. O predomínio de processos climáticos, intempéricos e erosivos, é comum em todas as formas de relevos presentes na margem passiva da placa sul-americana.

Figura 26 – Estágio atual como produto da interação de processos climáticos e tectônicos.

Dissecação do relevo, recuo areolar da escarpa e deposição quaternária na planície do Rio Jaguaribe



Fonte: elaborado pelo autor.

Teoriza-se que a sequência do estágio atual, dada a continuidade da calma tectônica e as alternâncias climáticas, ocorra do ponto de vista morfológico, uma extensa superfície aplainada que interligue a planície do rio Jaguaribe ao centro da bacia. As formas são resultantes de processos de aplainamento e dissecação do relevo, distintas pelas propriedades litológicas, mas homogêneas quanto seus processos originadores.

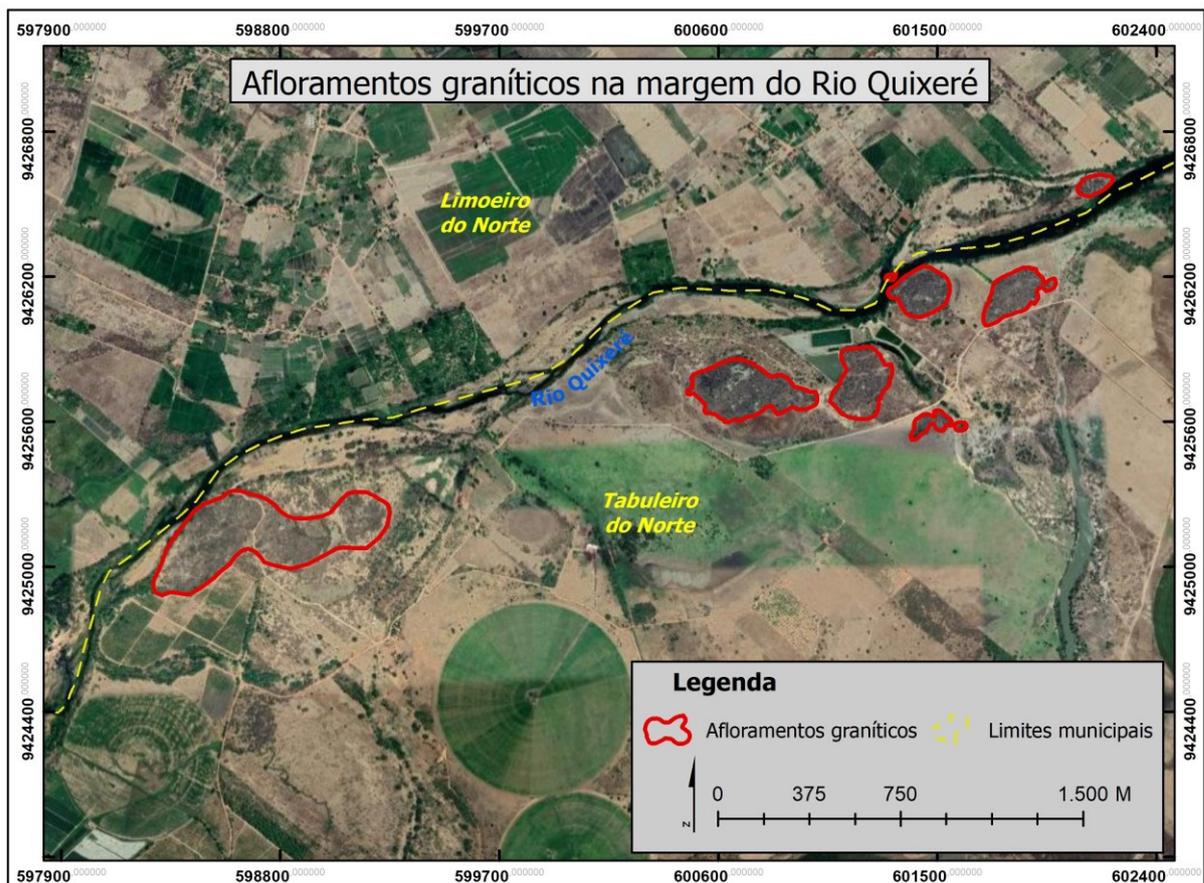
## 5.2 Os relevos graníticos e outras feições geomorfológicas.

A relação entre os relevos graníticos e o canal fluvial sobre a planície se dá em uma dificultosa interação dos fluxos de matéria e energia. Isso acontece como resposta para a migração a leste do canal fluvial, evidenciada no tópico anterior, que ao se aproximar das camadas basais da escarpa da chapada do Apodi, se depara com afloramentos do embasamento cristalino.

Esses afloramentos foram identificados na margem direita do canal (ver item B da Figura 12) e espacializados em duas ocorrências com morfologias distintas. Embora as litologias sejam semelhantes, a forma dos afloramentos permite uma diferenciação a partir dos

processos e implicações atuantes desencadeadas de sua localização em cada um dos afloramentos. A Figura 27 traz uma carta-imagem para espacialização georreferenciada dos afloramentos Morros, feições graníticas em contato com o atual canal fluvial do Rio Quixeré.

Figura 27 – Afloramentos Morros. Relevos graníticos em contato com o canal fluvial.



Fonte: elaborado pelo autor.

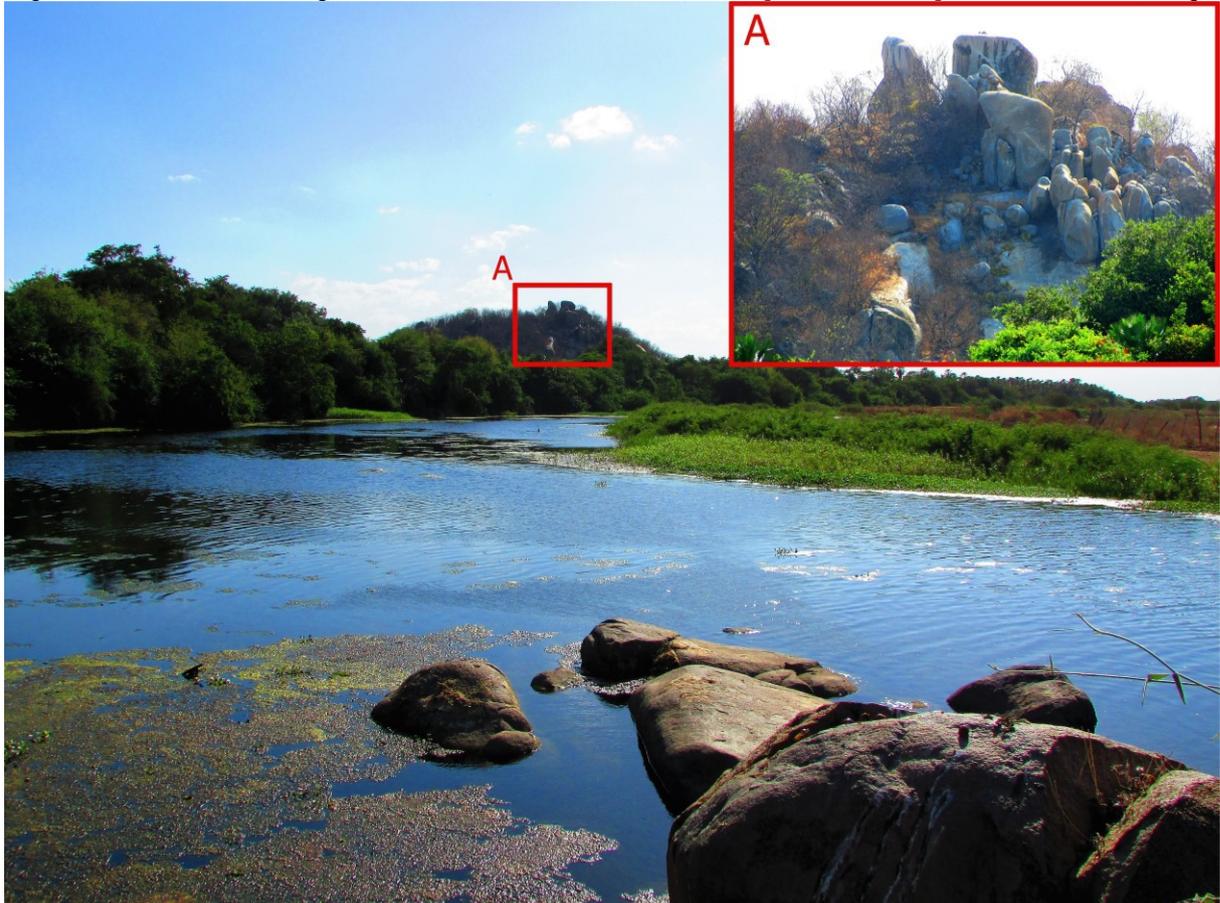
Os relevos graníticos do afloramento Morros, situados entre Limoeiro do Norte e Tabuleiro do Norte, expõem rochas dentro do canal fluvial e ao redor com cotas até 70 m. São relativamente baixos se comparados aos do afloramento Quixeré que chegam aos 130 m, contudo, expressivamente significativos no contexto local da planície fluvial, uma vez que se comportam como sobressalto topográfico na paisagem.

Os afloramentos se projetam como obstáculo ao curso atual do Rio Quixeré, fazendo com que a drenagem ao se deparar com a elevação proveniente dos afloramentos, perca energia em seu fluxo hídrico, acumulando sedimentos e alargando o canal, podendo desencadear o surgimento de barras fluviais e ilhas fluviais.

A jusante dos relevos graníticos, o canal se estreita ao superar os obstáculos topográficos, retomando um fluxo de alta energia, escavando um talvegue de até 8m de

profundidade, onde nesses setores as rochas cristalinas afloram dentro e nas margens do canal como pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Afloramentos graníticos na calha fluvial e feições saprolíticas do tipo tors sobre inselberg.



Fonte: acervo do autor.

A paisagem se configura por um trecho planície fluvial intercalada com inselbergs e outras feições graníticas que em alguns setores caracterizam um canal fluvial com margens rochosas.

Os relevos com as cotas mais elevadas apresentam formas resultantes de processos epigenéticos como *tors*, *castle koppies* e *boulders*, oriundas da esfoliação esferoidal. A presença dos blocos de granito (*boulders*) e *split rock* dividem a paisagem nos afloramentos de cotas menos elevadas, afetadas pela erosão fluvial e sem exposição do regolito, com os sedimentos quaternários da planície fluvial pontualmente nesse setor, localmente conhecido como ilha dos Morros (Figura 29).

Presente no baixo curso do Rio Jaguaribe e desempenham com mais intensidade a função de obstáculo na drenagem local, dificultando a migração do Rio Quixeré. No derredor do canal, por conta da ruptura topográfica há a ocorrência de *knickpoints* no curso fluvial, que de acordo com Bigarella (2021) podem surgir também nos locais de rochas mais resistentes à

erosão linear em consequência de alterações importantes no processo erosivo de uma área, devidas a mudanças climáticas marcantes.

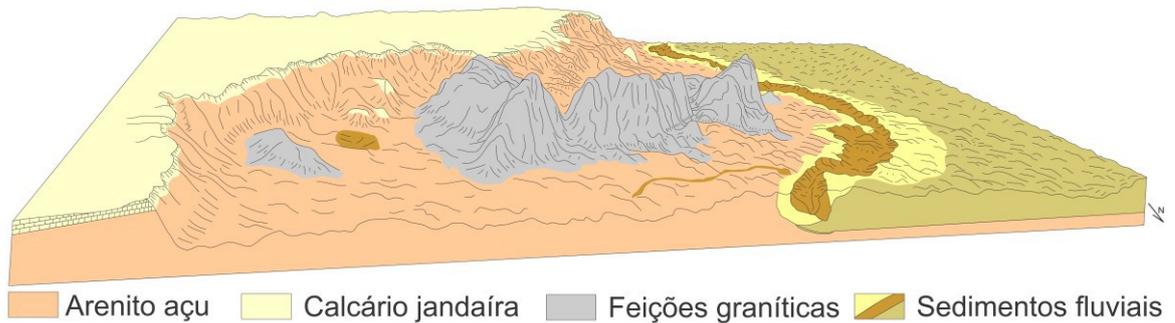
Figura 29 – Relevos granitos na calha fluvial exibindo feições de *boulders*, *tors* e *split rock*.



Fonte: acervo do autor.

No outro afloramento granítico, nos inselbergs Quixeré, há um maior acúmulo de sedimentos no trecho fluvial a montante da elevação, devido a drástica mudança na topografia local. Pelo fato desses inselbergs alcançarem cotas de 130m, os efeitos sobre a paisagem são mais abruptos e expressivos, uma vez que o canal não se superimpõe às rochas cristalinas. Pelo contrário, se distancia fazendo surgir um grande depósito de sedimentos fluviais em seu leito no entorno imediato dos granitos. Os inselbergs do afloramento Quixeré, se localizam na comunidade de Sítio Saquinho, no limite entre as cidades de Limoeiro do Norte e Quixeré, onde seu pico mais elevado é popularmente conhecido por Pedra da Bandeira. Nesse setor, os inselbergs desempenham categoricamente a função de um obstáculo a migração do canal uma vez que ao se aproximar da base dos afloramentos a drenagem muda de sentido e toma outro fluxo diferente de sua direção preferencial. A Figura 30 em escala proporcional, representa a migração do canal e a expressividade dos afloramentos graníticos.

Figura 30 – Bloco diagrama da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Descritos por Peulvast e Claudino Sales (2006) como paleo-inselbergs, a gênese e evolução desse relevo está diretamente ligada com a evolução da margem continental atlântica. A litologia pré-cambriana infere rochas anteriores a divisão do Pangeia iniciada há 200 Ma AP, apontando que os granitos estavam postos ante o surgimento dos continentes sul-americano e africano.

Na parte posterior do afloramento, mais recuado da planície fluvial identifica-se o setor mais conservado da recente exumação, presente em um arco erosivo da escarpa e em cotas menos elevadas que a chapada do Apodi como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Afloramentos graníticos em exumação próximo a escarpa da chapada do Apodi.



Fonte: acervo do autor.

Assim como as formas identificadas nos granitos do conjunto Morros, feições resultantes de processos morfogenéticos são identificados sobre os inselbergs do Conjunto Quixeré. No setor mais elevado dos inselbergs Quixeré, predominam formas de intemperismo físico e epigênico, servindo como resposta ao entendimento de que os processos intempéricos não atuaram de forma expressiva, dado o contexto da recente exumação.

Contudo, os fraturamentos estão presentes e preenchidos pelo regolito desenvolvendo típica vegetação rupícola entre as microformas graníticas como pode ser observado na Figura 32.

Figura 32 – Pedra da Bandeira, no inselberg Quixeré. Relevo saprolítico de lajedos com presença do regolito, onde ocorrem boulders, tors, poligonal cracking, entre outras feições, ao fundo a escarpa do Apodi.



Fonte: acervo do autor.

A diversidade de feições nos afloramentos graníticos faz dessas paisagens características do semiárido nordestino com extremo potencial científico e geoturístico. Como já descrito, nesse contexto de exumação e evolução geomorfológica, os afloramentos em questão se diferenciam de grande parte dos demais relevos graníticos em outras regiões do nordeste, potencializando mais ainda a investigação sobre a forma.

Nesse afloramento vale pontuar a baixa diversidade das feições de microformas associadas a meteorização. O processo recente de exumação e os componentes mineralógicos

com predominância de caráter félsico resistem ao processo de dissolução ainda incipiente, não ocorrendo caneluras/*karrens* ou *gnammas* como observado na Figura 33.

Figura 33 – Superfície granítica com caos de blocos, grus e veios félsicos com baixa diversidade de feições oriundas da meteorização no inselberg Quixeré.



Fonte: acervo do autor.

Por outro lado, feições decorrentes do alívio de pressão, fraturamentos, esfoliação esferoidal e termoclastia são bem significativas no inselberg Quixeré. Diversificando o tamanho e a forma, matacões ocorrem no sopé dos relevos enquanto boulders estão presentes em toda a superfície mais elevada reafirmando o caráter epigênico das feições graníticas.

Algumas superfícies de *boulders* e afloramentos rochosos exibem redes de rachaduras (*cracking*) rasas que descrevem polígonos de geometria variável (MIGON, 2006b), originando *poligonal cracking* também presentes no afloramento descrito (Figura 34).

Figura 34 – Poligonal cracking em ocorrência no inselberg Quixeré.



Fonte: acervo do autor.

Para além das evidências da exumação dos sedimentos cretáceos que fizeram reaparecer os inselbergs registradas ao longo desse trabalho, a presença das formas dos relevos graníticos ainda com menores parte como *grus*, consequências dos processos intempéricos na base do afloramento, além do estágio inicial da esfoliação esferoidal são indicadores na paisagem que remetem ao moderno processo erosivo sobre essa litologia como observado na Figura 35.

Figura 35 – Boulders em processo de exumação no inselberg Quixeré.



Fonte: acervo do autor.

Muito utilizado para visitação turística, esses afloramentos ocorrem associados à relevos elevados acessíveis e sofrem marcas do geovandalismo como pichação, queimadas, mineração e outras atividades degradadoras do ambiente como observado na Figura 36.

Figura 36 – Relevo saprolítico com boulders e grus, feições resultantes da esfoliação esferoidal com marcas do geovandalismo.



Fonte: acervo do autor.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das abordagens aqui direcionadas, pode-se considerar a possibilidade de que os relevos graníticos são inselbergs anteriores ao cretáceo que estão sendo submetidos a uma segunda exumação. A primeira ocorreu ao longo do Paleozóico limiar com Mesozóico 541-251 Ma AP, encerrando na fase inicial da distensão crustal durante a separação do Gondwana, onde os falhamentos estruturais auxiliaram na exumação do embasamento.

Da abertura ao abortamento do rifte potiguar que proporcionou o adentramento do mar cretáceo ao continente, o embasamento cristalino teve seus afloramentos encobertos pelos sedimentos do que viera originar a bacia potiguar. Esses sedimentos preservaram a forma de inselbergs do granito exumados que, ao soerguimento da bacia e novos processos erosivos atuando na escarpa, submeteram a massa rochosa à segunda exumação. Nessa segunda fase, o escoamento superficial através de processos laterais e lineares, remodelou e exibiu as feições graníticas até então identificados, apresentando inselbergs.

Suas formas e feições, atreladas as etapas geocronológicas faz com que seja um objeto de grande potencial para análise e evolução de paisagens graníticas, uma vez que os processos se diferem da grande maioria dos Inselbergues do Nordeste, onde se encaixam em um contexto de superfícies antigas e desgastadas, os relevos graníticos na planície do baixo curso rio Jaguaribe ainda preserva feições de uma exumação recente, sobre uma superfície recente.

A metodologia e processamento proposto apresentam limitações dado as seguintes questões: 1) As imagens alos palar podem apresentar deficiências quando utilizadas para trabalhar com grandes escalas, sendo mais eficaz para mapeamentos e identificação de microfieções nos levantamentos aerofotogramétricos. 2) A dinâmica fluvial da planície do Jaguaribe se torna complexa dado controle da vazão e drenagem dos rios que pela açudagem, assim, limitando possíveis estágios de migração do canal. 3) O recuo lateral da escarpa pode ser melhor estimado com o avanço de dados climáticos relacionados a datação de depósito correlatos capazes de que quantificar as taxas de intemperismo e erosão que atuaram desde a formação da Chapada do Apodi.

É importante pontuar a ocorrência desses relevos cristalinos fora da depressão sertaneja, onde comumente se encontram as formas resultantes do processo de evolução padrão. Ainda na região do baixo Jaguaribe, há o registro de relevos graníticos sobre a unidade sedimentar dos tabuleiros interioranos no distrito da Tapera, município de Russas. Em Jaguaruana no limite com Aracati, ocorrem inselbergs com contextos semelhantes ao descrito

no presente trabalho, contudo com litologia quartizítica. Em Limoeiro do Norte, há outras ocorrências de afloramentos graníticos em contato com corpos hídricos da planície fluvial na prainha do Bixopá, no distrito homônimo. Fora dessa região, um afloramento que também merece destaque por sua singularidade e contexto ambiental e morfogênese, localiza-se no litoral do município de Chaval, extremo oeste do Ceará. São essas algumas ocorrências de relevos da margem atlântica que apresentam processos de gênese e formação com peculiaridades que podem render informações ao debate geomorfológico.

Dada a complexidade da gênese e a diversidade de feições, as discussões aqui apresentadas, estruturam uma caracterização capaz de subsidiar problemáticas que contribuam para o avanço do estudo na evolução das paisagens da margem atlântica do continente sul-americano. Os relatos e informações no presente trabalho indicam potencialidades para seguir diversos outros estudos voltados a evolução da paisagem com o viés geomorfológico no Baixo Jaguaribe, como a datação dos depósitos correlatos no sopé da escarpa, a espeleologia das cavidades naturais resultantes do processo de recuo lateral, além do potencial geoturístico da área com foco na conservação e valoração científica dos relevos descritos.

## REFERÊNCIAS

- AB SÁBER, A. N. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Nordeste Brasileiro. **IGEO, Bol. Geomorfologia**, São Paulo, SP, n. 19, p.38, 1969.
- AB SÁBER, A. N.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.
- AB SÁBER, A. N.; Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**. São Paulo: USP-FFCHL, n. 18, 1969. 23 p
- AB SÁBER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 43, p. 1-39, 1974.
- Almeida, Flávio Fernando Marques. Origem e evolução da Plataforma brasileira. Boletim do ALMEIDA, António. A controversa aceitação da teoria da tectónica de placas à luz das ideias de Kuhn. **Revista de Educação**, v. 9, n. 2, p. 29-40, 2000.
- ANDRADE, José Hamilton Ribeiro; MAIA, Celsemy Eleutério. EROSÃO DE MARGENS EM RIOS SEMIÁRIDOS: ESTUDO NA SUB-BACIA DO BAIXO JAGUARIBE – CEARÁ – BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.859-870, 2 out. 2018. Trimestral. Revista Brasileira de Geomorfologia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i4>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- BARBOSA, Fernando Henrique de Souza *et al.* Vertebral lesions in a titanosaurian dinosaur from the Lower-Upper Cretaceous of Brazil. **Geobios**, [s.l.], v. 51, n. 5, p. 385-389, out. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geobios.2018.08.002>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- BERTANI, R.T.; COSTA, I.G.; MATOS, R.M.D. **Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar**. In: RAJA GABAGLIA, G.P.; MILANI, E.J. (Coord.) Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: Petrobras. SEREC.CENSUD, 1990. p. 291-310.
- BEZERRA, Francisco H.R. *et al.* Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 61-75, abr. 2001. Elsevier BV. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811\(01\)00009-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0895-9811(01)00009-8). Acesso em: 29 abr. 2021.
- BIGARELLA, João José *et al.* Considerações a Respeito da Evolução das Vertentes. **Espaço Aberto: PPGG - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 181-209, ago. 2021. Semestral. Trabalho publicado originalmente no Boletim Paranaense de Geografia, n. 16/17, em julho de 1965, p. 85-116. Disponível em: <https://revistas.ufjf.br/index.php/EspacoAberto>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- BIGARELLA, João José. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais**. 1994. Vol.1. Florianópolis: Ed. UFSC.

BRITO NEVES, Benjamin Bley. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecionário andino. **Revista Brasileira de Geociências** 29, 1999. p. 379-392

BÜDEL, J. **Climatic geomorphologie**. Tradução de L. Fischer e D. Busche. New Jersey: Princenton University Press, 1982.

BÜDEL, J. Die doppelten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, n. 1, p. 201-288, 1957.

CABY, R.; Arthaud, M.H.; Archanjo, C.J. Lithostratigraphy and petrostructural caracterization of supracrustais units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamics implications. IN: Silva Filho, A.F.; Lima, E.S. (eds.). Geology of The Borborema Province. **Journal of South America Earth Science** 9, 1995. p. 235-246.

CARVALHO, Ismar de Souza *et al* (ed.). **Paleontologia: cenário de vida - paleoclimas**. 5. ed. [S. L.]: Interciência, 2014.

CAMPBELL, E. M. Granite landform. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, v. 80, n. 3, September, 1997.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFU, 1994. 137p.

CAVALCANTE, Andrea Almeida. Distribuição Temporal de Descargas e Alterações Morfológicas em Rios Semiáridos: O Rio Jaguaribe no Ceará, Brasil. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [s.l.], v. 35, p.28-36, 24 jul. 2018. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v35i0.133598>. Acesso em: 17 jan 2021.

CAVALCANTE, Andréa Almeida; CUNHA, Sandra Baptista da. Morfodinâmica Fluvial Em Áreas Semiáridas: Discutindo O Vale do Rio Jaguaribe-Ce-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.39-49, 13 ago. 2012. Trimestral. Revista Brasileira de Geomorfologia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i1>. Acesso em: 1 nov. 2018.

CAXITO, Fabricio. James Hutton e o Sublime Geológico: a teoria da terra entre o iluminismo e o romantismo. **Terrae Didactica**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 235, 22 jan. 2018. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/td.v13i3.8650962>. Acesso em: 05 set 2020.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Sistema de Informações dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>. Acesso em: 26 nov. 2018.

COGERH. Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe. **Baixo Jaguaribe**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/baixo-jaguaribe/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CORDANI, U. G. *et al*. **Crustal evolution of the South American plataform**. In: CORDANI, U. G. *et al*. Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro: IGC, 2000. p.19-40.

CORRÊA, Antônio Carlos de Barros *et al.* MEGAGEOMORFOLOGIA E MORFOESTRUTURA DO PLANALTO DA BORBOREMA. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 35-52, jun. 2010. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/405/387>. Acesso em: 11 dez. 2021.

COSTA, Cleuton Almeida da. **MARCAS DA OCUPAÇÃO DO SOLO NA DINÂMICA FLUVIAL NO MÉDIO-BAIXO JAGUARIBE-CE**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

COSTA, Luis Ricardo Fernandes da *et al.* Geomorfologia dos tabuleiros interiores do estado do Ceará - Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. L.], v. 14, n. 7, p. 4056-4065, jan. 2021. Bimensal. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/249987>. Acesso em: 17 jan. 2022.

COSTA, Renata Cristina Araújo. **INDICADORES MORFOMÉTRICOS: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136061/000858250.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 jun. 2020.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. O desenvolvimento Teórico-Analítico em Geomorfologia: do Ciclo de Erosão aos Sistemas Dissipativos. **Geografia**, Rio Claro, v. 14, n. 28, p. 15-30, out. 1989.

CLAUDINO SALES, V; PEULVAST, J. P.; Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia** . Uberlândia v. 7, n. 2 Fev/2007 p. 7 – 21.

CLAUDINO SALES, V. **Megageomorfologia do Estado do Ceará**. [S. L.]: Novas Edições Acadêmicas, 2016. 59 p.

CPRM. CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL **Mapa Geodiversidade do Estado do Ceará**. ESCALA 1:750.000. Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14692>. Acesso: 11 dez 2021.

DANTAS, Marcelo Eduardo *et al.* ORIGEM DAS PAISAGENS. In: SILVA, Cassio Roberto da (ed.). **GEODIVERSIDADE DO BRASIL: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: Cprm, 2008. p. 1-268. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1210>. Acesso em: 20 ago. 2020.

DAVIS, William Morris. The geographical cycle. **Geographical Journal**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 412 p.

FUNCEME. FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **A Zona costeira do estado do Ceará: compartimentação geoambiental e antropismo**.

Fortaleza: FUNCEME, 2009. 67 p. il. Anexos de memória fotográfica e compartimentação geoambiental do estado do Ceará.

GOMES NETO, Antonio de Oliveira. **NEOTECTÔNICA DO BAIXO VALE DO RIO JAGUARIBE – CEARÁ**. 2007. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

Hutton J. 1788. **Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe**. Trans. Royal Society of Edinburgh, 1:209-304.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. LUIZ CARLOS SOARES GATTO (org.). **DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO JAGUARIBE**: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: Ibge, 1999. 77 p.

KING, Lester Charles. Canons of landscape evolution. **Bulletin of the Geology Society of America**, Washington DC, v. 64, n. 7, p. 721-732, 1953.

LANDIM NETO, F.O.; GORAYEB, A.; PEREIRA FILHO, N.s.; SILVA, E.V.. **Geotecnologias Aplicadas na Caracterização Ambiental, Geomorfológica, Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas: subsídios para o planejamento ambiental**. Revista Geoamazonia, [s.l.], v. 3, n. 6, p. 28-41, 12 dez. 2015. Revista Geoamazonia. Disponível em <http://dx.doi.org/10.17551/2358-1778/geoamazonia.v3n6p28-41>. Acesso em 22 jun. 2021.

LIMA, Maria da Guia. **A história do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil**: implicações paleoclimáticas e tectônicas. 2008. 594 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LOBO, José Gregorio Roa. **EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE UN MODELO DE CLASIFICACIÓN GEOMORFOMÉTRICA AUTOMÁTICA A PARTIR DE DOS MDE**: srtm (90m) y alos palar (12,5m). 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Pública de Navarra, Navarra, 2019. Disponível em: [https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/35121/JOSE\\_ROA\\_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/35121/JOSE_ROA_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 11 set. 2021.

MAIA, Rúbson Pinheiro. (2005) **Planície Fluvial do Rio Jaguaribe: Evolução Geomorfológica, Ocupação e Análise Ambiental**. Dissertação (Mestrado Geografia Física) UFC Fortaleza, Universidade Federal do Ceará.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rego. (2014). **Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional Brasileiro**. Mercator, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127-141, jan./abr. 2014.

MAIA, Rúbson Pinheiro. *et al.* Geomorfologia do Nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. **Revista de Geografia**: VIII SINAGEO, Recife, v. 1, n. 1, p. 1-14, set. 2010. Especial.

MAIA, Rúbson Pinheiro; NASCIMENTO, Marcos Antônio Leite do. RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.373-389, 1 abr. 2018. Revista Brasileira de Geomorfologia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1295>. Acesso em: 22 jun. 2020.

MAIA, Rúbson Pinheiro. **Paisagens graníticas do Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Edições Ufc, 2018. 104 p.

MAIA, Rúbson Pinheiro; BEZERRA, Francisco Hilário Rêgo. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural: Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014. 132p. il.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. O relevo brasileiro no contexto da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia**, [s.l.], v. 61, n. 1, p.21-58, 2016. IBGE. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.21579/issn.2526-0375\\_2016\\_n1\\_art\\_2](http://dx.doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2016_n1_art_2). Acesso em: 11 dez. 2021.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches; FIERZ, Marisa de Souto Matos; NEPOMUCENO, Pablo Luíz Maia; MELO, Marcos Antonio de. Macroformas do Relevo da América do Sul. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [s.l.], v. 38, p. 58-69, 14 dez. 2019. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v38i1.158561>. Acesso em 17 nov. 2020.

LOBO, José Gregorio Roa. **EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE UN MODELO DE CLASIFICACIÓN GEOMORFOMÉTRICA AUTOMÁTICA A PARTIR DE DOS MDE: srtm (90m) y alos palsar (12,5m)**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agronomos, Universidad Pública de Navarra, Navarra, 2019. Disponível em: [https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/35121/JOSE\\_ROA\\_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/35121/JOSE_ROA_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 11 set. 2021.

MABESOONE, J. M; CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do nordeste brasileiro. **Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**, Recife, n. 3, p.5-37, 1975.

MABESOONE, J. M. Panorama geomorfológico do nordeste brasileiro. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 56, 1978.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia. 2006. Insetos Fósseis como Bioindicadores em Depósitos Sedimentares: um estudo de caso para o Cretáceo da Bacia do Araripe. **Revista Brasileira de Zoociências**. UFJF, 8(2): 159-180.

MATOS, Renato Marcos Darros. **Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic**. American Geophysical Union, Geophysical Monograph 115, 2000. p 331-354.

MATMON, A.; MUSHKIN, A.; ENZEL, Y.; GRODEK, T.; ASTER, T. Erosion of a granite inselberg, Gross Spitzkoppe, Namib Desert. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 201, p. 52-59, 2013.

MIGÓN, P. Etching, etchplain and etchplanation. *In*: GOUDIE, Andrew S. **Encyclopedia of geomorphology**. Londres: Taylor & Francis,. p. 345-347, 2006c

MIGÓN, P. Granite geomorphology. *In*: GOUDIE, Andrew S. **Encyclopedia of geomorphology**. Londres: Taylor & Francis, p. 490-493, 2006d.

MILANKOVITCH, Milutin. **THÉORIE MATHÉMATIQUE DES PHÉNOMÈNES THERMIQUES PRODUITS PAR LA RADIATION SOLAIRE**. Paris: Editeurs Du Bureau Des Longitudes, 1920.

MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. *In*: **INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERITISATION PROCESSES**, 2., 1982, São Paulo. Anais... Organização e edição de A. J. Melfi e A. Carvalho. São Paulo: IUGS; UNESCO; IGCP; IAGC, 1983. p.53-63.

MORO, Marcelo Freire *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [s.l.], v. 66, n. 3, p.717-743, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201566305>. Acesso em: 29 abr. 2021.

NEVES, Mirna Aparecida *et al.* COMPARTIMENTAÇÃO MORFOTECTÔNICA DA REGIÃO DE JUNDIAÍ (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, [S. L.], v. 2, n. 33, p. 167-176, jun. 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 448p.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Estudos integrados na estruturação dos sistemas ambientais e no ordenamento territorial**. *In*: DENARDIN, Valdir Frigo; ALVES, Alan Ripoll (ed.). *Gestão de Bacias Hidrográficas e Sustentabilidade*. Londrina: Macenas, 2019. p. 1-159.

PENCK, Walther. **Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology**. London: MacMillan, 1953. First edition ©1924.

PEULVAST, J.P.; SALES, V. Claudino. Stepped surfaces and paleolandforms in the northeastern Brazilian constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 62, p. 89-122, 2004.

PEULVAST, Jean Pierre; SALES, Vanda Claudino. RECONSTRUINDO A EVOLUÇÃO DE UMA MARGEM CONTINENTAL PASSIVA: UM ESTUDO MORFOGENÉTICO DO NORDESTE BRASILEIRO. *In*: SILVA, José Borzacchiello da; LIMA, Luiz Cruz; ELIAS, Denise (Org.). **Panorama da Geografia Brasileira**. São Paulo: Annablume, 2006. p. 277-318

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Os fundamentos da geografia da natureza**. Geografia do Brasil, EDUSP, 1997, p. 1-65.

SÁ, Emanuel F. Jardim de *et al.* TERRENOS PROTEROZÓICOS NA PROVÍNCIA BORBOREMA E A MARGEM NORTE DO GRÁTON SÃO FRANCISCO. **Revista Brasileira de Geociências**, [s.l.], v. 22, n. 4, p. 742-780, 1 mar. 1992. Sociedade Brasileira de Geologia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.1991472480>. Acesso em: 17 nov. 2020.

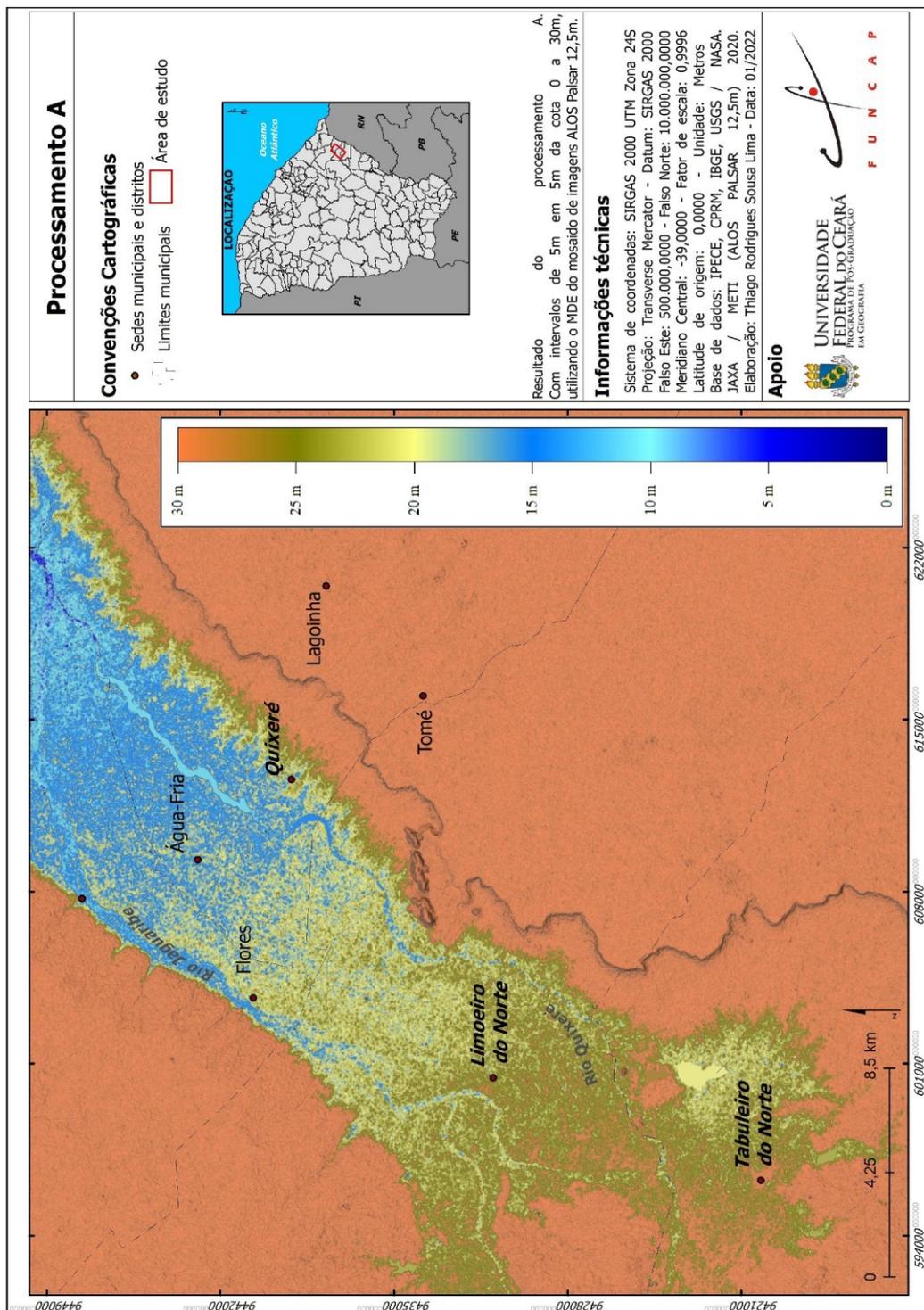
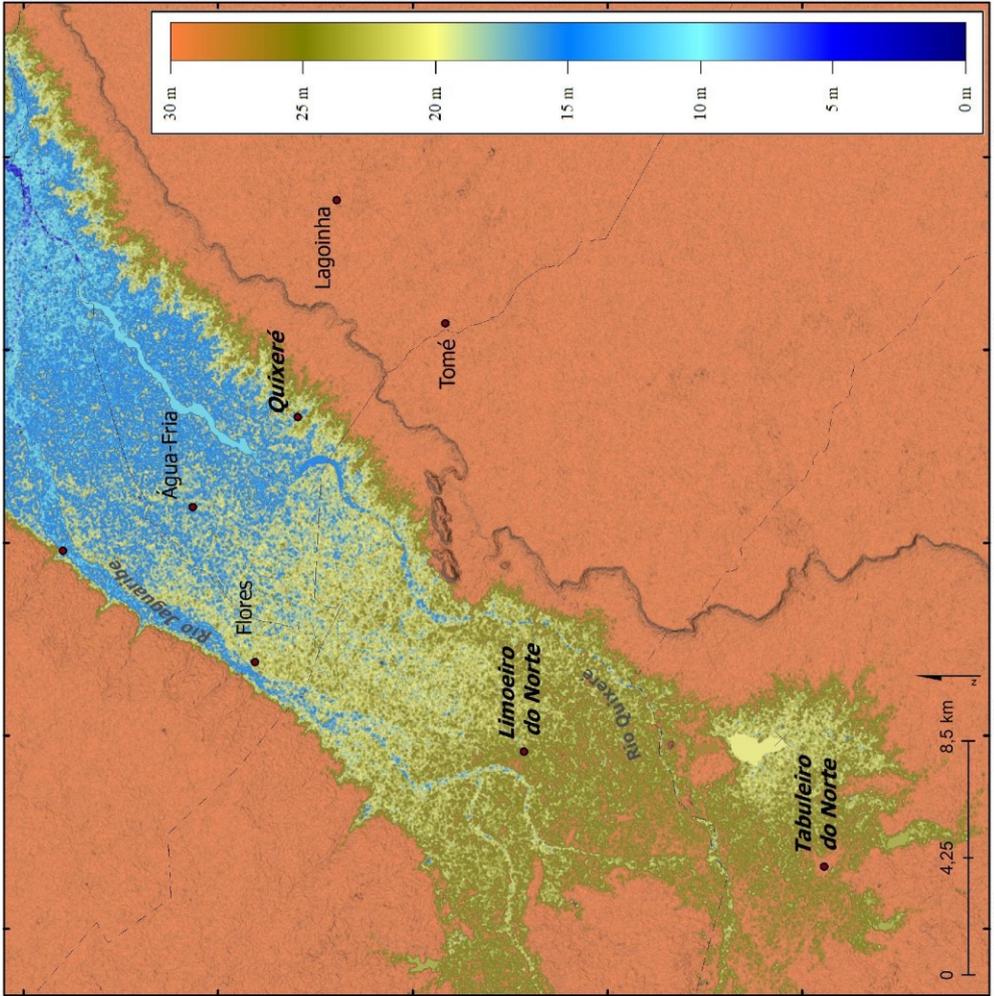
- SAADI, A. **Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares.** *Geonomos*, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1993.
- SALGADO, André Augusto Rodrigues. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. *Geografias*, Belo Horizonte, v. 1, n. 03, p. 64-78, jun. 2007. Semestral.
- SAMPAIO AV & SCHALLER H. 1968. Introdução à Estratigrafia da Bacia Potiguar. Rio de Janeiro. Boletim Técnico da Petrobras, 11(1): 19-44.
- SILVA, Raianny Sara Ferreira da. **Contribuições para a interpretação da evolução geomorfológica do Baixo Jaguaribe - CE.** 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Cap. 7.
- SINAGEO, 12., 2018, Crato. MAPEAMENTO DA DECLIVIDADE ENQUANTO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO DO LITORAL NORTE PAULISTA. [S. L.]: **União da Geomorfologia Brasileira**, 2018. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-5-546.html>. Acesso em: 11 dez. 2021.
- SOUZA, M. J. N. *et al* (1988) - **Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará** – Fortaleza.
- SOUZA, Marcos José Nogueira; MENELEU NETO, José; CRUZ, Maria Lucia Brito da; OLIVEIRA, Vladia Pinto Vidal de. **PROGNÓSTICO DA GESTÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO AÇUDE CASTANHÃO.** In: MEDEIROS, Cleyber Nascimento de; GOMES, Daniel Dantas Moreira; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva; CRUZ, Maria Lúcia Brito da (org.). Os recursos hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades. Fortaleza: Ipece, 2011. p. 1-273.
- SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B.; **COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA DO ESTADO DO CEARÁ.** *Ciências Agronômicas*, Fortaleza, v. 1-2, n. 9, p. 77-86, nov. 1979.
- SOUZA, Suelen Ferreira de *et al.* Relations between Potiguar Rift structural framework and the adjacent basement: analysis of gravity and magnetic data. *Geologia Usp. Série Científica*, São Paulo, v. 16, n. 1, p.43-60, 7 abr. 2016. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i1p43-60>. Acesso em: 11 set. 2020.
- TRICART, J. – *Principes et Methodes de la Geomorphologie.* Paris: Masson et Cie Editemas, 1965.
- TWIDALE, C. R. **Granite Landforms.** Amsterdam: Elsevier, 1982.
- TWIDALE, C. R. The two-stage concept of landform and landscape development involving etching: origin, development and implications of an idea. *Earth Science Reviews*, v. 57, p. 37-74, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Biblioteca Universitária, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ufc.br/wp-content/uploads/2019/10/guia-de-citacao-06.10.2019.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2021.

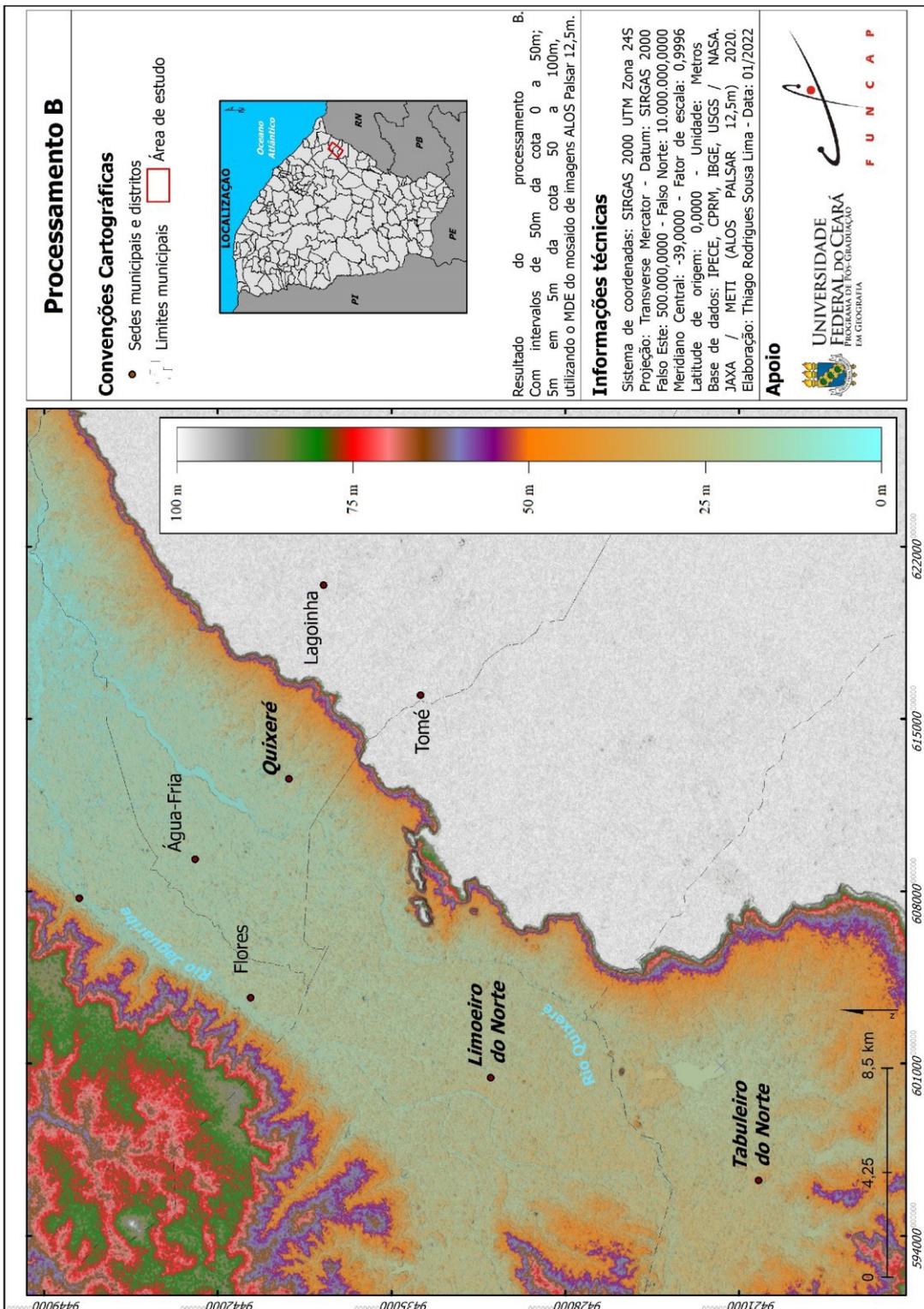
VITTE, Antonio Carlos. ETCHPLANAÇÃO DINÂMICA E EPISÓDICA NOS TRÓPICOS QUENTES E ÚMIDOS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 105-118, jun. 2005.

WEGENER, Alfred. Die Entstehung der Kontinente. **Geologische Rundschau**, [s.l.], v. 3, n. 4, p. 276-292, jul. 1912. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02202896>. Acesso em: 09 mar. 2021.

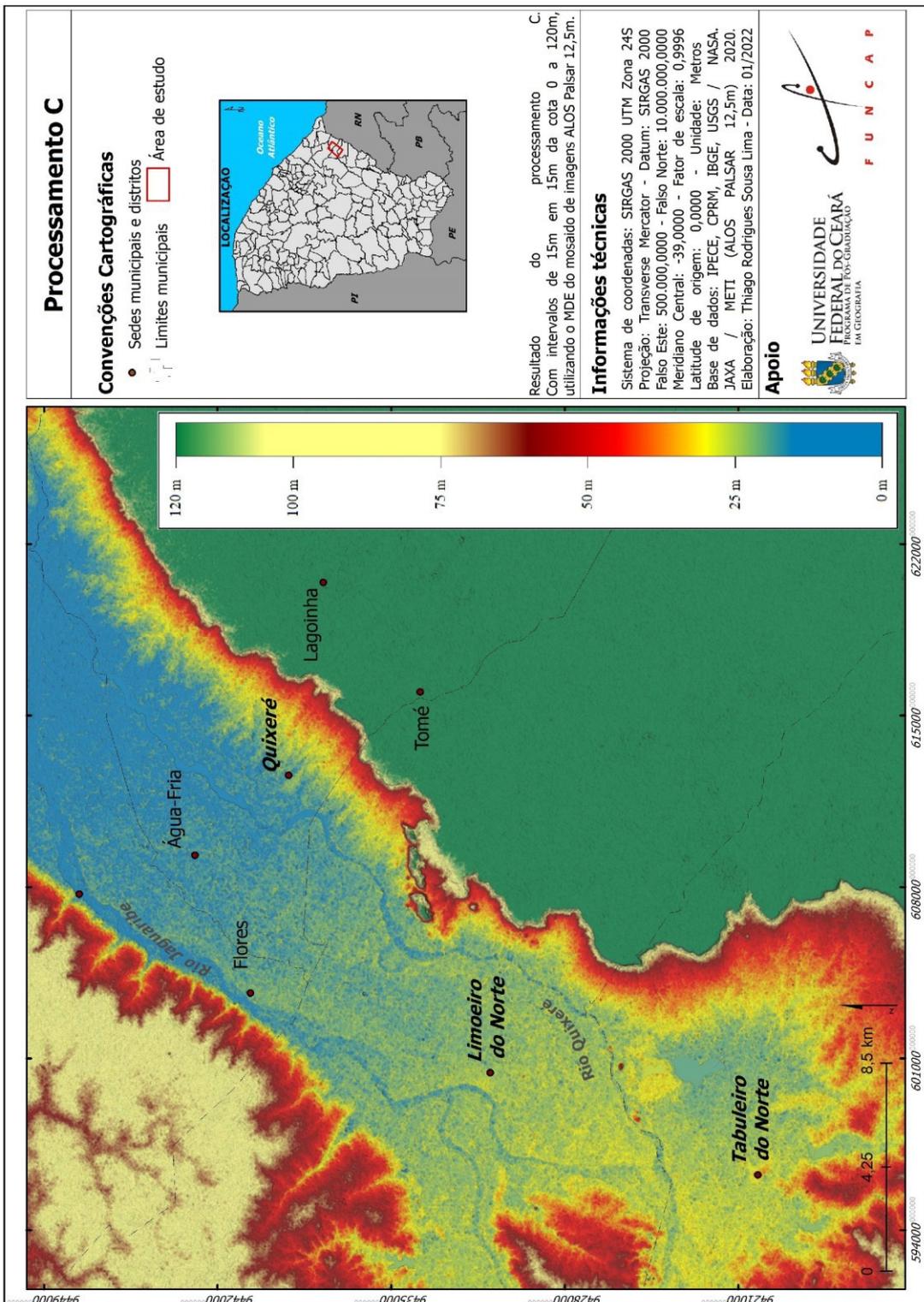
## ANEXO A – PROCESSAMENTO A COM FOCO NAS FEIÇÕES DA PLANÍCIE FLUVIAL.

## ANEXO B – PROCESSAMENTO B COM FOCO NAS FEIÇÕES ENTRE A PLANÍCIE FLUVIAL E A ESCARPA DO APODI.



## ANEXO C – PROCESSAMENTO C COM FOCO NA INTEGRAÇÃO DOS RELEVOS.



## ANEXO D – REDE DE DRENAGEM EXTRAÍDO DO MDT.

