



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

FRANCISCO DAVY BRAZ RABELO

**MODELAGEM DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO CAETÉ, PARÁ**

FORTALEZA

2021

FRANCISCO DAVY BRAZ RABELO

MODELAGEM DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO CAETÉ, PARÁ

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

Orientador: Prof. Dr. Edson Vicente da Silva.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Adryane Gorayeb.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R114m Rabelo, Francisco Davy Braz.
Modelagem da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Caeté, Pará / Francisco Davy Braz.
Rabelo. – 2021.
151 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Edson Vivente da Silva.
Coorientação: Prof. Dr. Adryane Gorayeb.
1. Detecção de mudanças. 2. Uso e ocupação do solo. 3. Modelagem dinâmica. I. Título.
CDD 910
-

FRANCISCO DAVY BRAZ RABELO

MODELAGEM DA DINÂMICA DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CAETÉ, PARÁ

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

Aprovada em: 10/ 12/ 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Jeovah de Andrade Meireles
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Leonardo da Silva Soares
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. Ernane Cortez Lima
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UEVA)

Aos meus pais, Maria de Fátima e Francisco José, e ao meu filho, Levy Rabelo.

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Edson Vicente da Silva, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora de qualificação Carlos Sopchaki, Carlos Bordalo e Lúcio Miranda pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores participantes da banca de defesa Jeovah Meireles, Ernane Cortez, Leonardo Soares e Lúcio Miranda pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de doutorado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Evidentemente, para os que não têm consciência do significado das heranças paisagísticas e ecológicas, os esforços dos cientistas que pretendem responsabilizar todos e cada um pela boa conservação e pelo uso racional da paisagem e dos recursos da natureza somente podem ser tomados como motivo de irritação, quando não de ameaça, a curto prazo, à economicidade das forças de produção econômica. iz (Ab'SÁBER, 2003)

RESUMO

A presente tese teve como objetivo maior avaliar as mudanças nas formas de uso das terras na bacia hidrográfica do rio Caeté ao longo de cinco décadas. A metodologia baseou-se no uso de técnicas de processamento digital de imagens com dados de sensoriamento remoto, gerando uma análise multitemporal que abrange o período de cinco décadas (1973 a 2020). Imagens de plataformas orbitais passivas com a menor cobertura de nuvens possíveis foram obtidas por meio de pesquisas nos repositórios do *Earth Explorer Geological Survey* (USGS) e no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no Brasil (INPE), processo seguido de a montagem de dados geográficos e a composição colorida de imagens de diferentes sensores com a classificação de imagens com o algoritmo de *IsoCluster*. A verificação das amostras em campo, e a validação dos produtos de classificação e análise dos dados obtidos foram realizadas por meio da quantificação das áreas e representação dos resultados. Para o setor da baía do Caeté, utilizou-se a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), que consiste na definição de transectos lineares retirados de uma única linha de base aplicada na avaliação de mudanças no litoral por meio de análises de imagens. Diferentes áreas com sedimentação e erosão foram calculadas, identificadas e mapeadas, apontando para variações relacionadas a perdas sedimentares na zona intermaré e ganhos sedimentares (progradação) causados pelo transporte do material por meio das marés de syzygy. Como resultado foi possível quantificar às classes definidas durante os anos de 1973, 1985, 1995, 2005, 2015 e 2018. Permitindo uma espacialização espaço-temporal das mudanças ocorridas na Bacia Hidrográfica do Rio Caeté, identificando as principais tendências de transição entre as classes de uso. Correlacionando os períodos de secas e as mudanças nas formas de uso e ocupação na bacia do rio Caeté, em uma perspectiva da modelagem dinâmica da paisagem, além da implementação de metodologias que permitam a cenarização e prognóstico de possíveis panoramas futuros com as atuais taxas de modificações.

Palavras-chave: Detecção de mudanças; uso e ocupação do solo; modelagem dinâmica.

ABSTRACT

This thesis aimed to evaluate changes in land use forms in the Caeté river basin over five decades. The methodology was based on the use of digital image processing techniques with remote sensing data, generating a multitemporal analysis covering the period of five decades (1973 to 2020). Images of passive orbital platforms with the lowest possible cloud cover were obtained through research in the Earth Explorer Geological Survey (USGS) repositories and in the Image Catalog of the National Institute for Space Research in Brazil (INPE), a process followed by assembling of geographic data and the color composition of images from different sensors with image classification with the IsoCluster algorithm. The verification of the samples in the field, and the validation of the classification products and analysis of the obtained data were carried out through the quantification of the areas and representation of the results. For the Caeté Bay sector, the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool was used, which consists of defining linear transects taken from a single baseline applied to the assessment of changes in the coastline through image analysis. Different areas with sedimentation and erosion were calculated, identified and mapped, pointing to variations related to sedimentary losses in the intertidal zone and sedimentary gains (progradation) caused by material transport through syzygy tides. As a result, it was possible to quantify the classes defined during the years 1973, 1985, 1995, 2005, 2015 and 2018. Allowing a spatiotemporal spatialization of the changes that occurred in the Caeté River Basin, identifying the main transition trends between the classes of use. Correlating periods of drought and changes in the forms of use and occupation in the Caeté river basin, in a perspective of dynamic modeling of the landscape, in addition to the implementation of methodologies that allow the scenario and prediction of possible future scenarios with current rates of change .

Keywords: Change detection; land use and occupation; dynamic modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Caeté.....	21
Figura 2	–	Linha do tempo programa Landsat.....	37
Figura 3	–	Exemplo do uso de sensoriamento remoto, como pode ser visualizado na Região Bragantina do Pará no ano de 1972.....	39
Figura 4	–	Metodologia MapBiomias.....	41
Figura 5	–	Classes de uso do solo.....	42
Figura 6	–	Mapeamento MapBiomias 1985 - 2018.....	42
Figura 7	–	Exemplo de downscaling.....	49
Figura 8	–	Estações meteorológicas do INMet na bacia do rio Caeté.....	50
Figura 9	–	Etapas de seleção e aplicação da metodologia. (A4).....	53
Figura 10	–	Indicação das etapas do DSAS.....	54
Figura 11	–	Fluxograma das etapas de classificação e validação.....	56
Figura 12	–	Trecho do alto curso da bacia indicando o critério de seleção com menos presença de nebulosidade.....	57
Figura 13	–	Localização da área em relação às grandes províncias tectônicas da Plataforma Sul-Americana.....	62
Figura 14	–	Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.....	66
Figura 15	–	Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.....	71
Figura 16	–	Proposta de divisão da Zona Bragantina do Pará.....	72
Figura 17	–	Modelo digital de elevação correspondente a bacia hidrográfica do rio Caeté.....	74
Figura 18	–	Estuário do Rio Caeté.....	76
Figura 19	–	Classificação climática de Köppen-Geiger atualizada para a América do Sul.....	82
Figura 20	–	Mapa das subacias da bacia hidrográfica do rio Caeté.....	84

Figura 21	–	Presença de Campos Herbáceos próximo à margem do rio Caeté.....	85
Figura 22	–	Imagem da Vegetação de Mangue na zona estuarina da bacia hidrográfica.....	87
Figura 23	–	Planta da EF Bragança no Séc. XIX.....	92
Figura 24	–	Implantação das colônias agrícolas (1875-1914).....	93
Figura 25	–	Carta da Estrada de Ferro em 1908.....	94
Figura 26	–	Porto de trapiche na cidade de Bragança, 1950.....	97
Figura 27	–	Trecho de fotografia aérea de 1946 nas proximidades de Bragança, levantado pelo United State Air Force (USAF).....	99
Figura 28	–	Dinâmica espaço temporal entre 1920 e 1950 da Região Bragantina do Pará.....	100
Figura 29	–	Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Caeté.....	102
Figura 30	–	Hipometria (m) interpolada da Região Nordeste do Estado do Pará.....	106
Figura 31	–	Campos de médias sazonais de temperatura a 2 metros (°C) - a) DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); b) MAM (Março, Abril e Maio); c) JJA (Junho, Julho e Agosto); d) SON (Setembro, Outubro e Novembro).....	108
Figura 32	–	Campos de médias sazonais de precipitação (mm/mês) - a) DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); b) MAM (Março, Abril e Maio); c) JJA (Junho, Julho e Agosto); d) SON (Setembro, Outubro e Novembro).....	108
Figura 33	–	Gráfico de médias mensais de Intensidade (Linha - m/s) e Direção (Barras - °).....	109
Figura 34	–	Séries temporais do conjunto de dados, com linha de tendência em roxo - a) Tracuateua - Médias anuais de temperatura a 2 metros (°C); b) Tracuateua - Total anual de precipitação (mm). c) ERA-Interim - Médias anuais de temperatura a 2 metros (°C); d) CPC/NCEP - Total anual de precipitação (mm).....	110
Figura 35	–	Climograma com médias mensais de Temperatura a 2 metros (Linha - °C) e Precipitação (Barras - mm) - a) Estação convencional de Tracuateua; b) ERA-Interim + CPC/NCEP.....	111
Figura 36	–	Climogramas da Bacia do rio Caeté com precipitação (mm) e Temperatura (°C) - a) 1973 a 1978; b) 1979 a 1988; c) 1989 a 1998;	

	d) 1999 a 2008; e) 2009 a 2018.....	115
Figura 37	– Climograma com médias mensais de Temperatura a 2 metros (Linha - °C) e Precipitação (Barras - mm) do período de 2009 a 2019.....	116
Figura 38	– Climogramas da Bacia do rio Caeté com precipitação (mm) e Temperatura (°C) - a) 1979 a 1988; b) 1989 a 1998; c) 1999 a 2008; d) 2009 a 2018.....	117
Figura 39	– Série temporal do Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2).....	118
Figura 40	– Totais anuais de precipitação da estação meteorológica de Tracuateua.....	118
Figura 41	– Totais anuais de precipitação da estação meteorológica de Tracuateua nos meses da estação: a) seca (SON); b) chuvosa (FMAM). As caixas representam o percentil 10 e o percentil 90 indicando os anos de extremo seco e extremo chuvoso.....	120
Figura 42	– Espacialização das linhas de costa na foz/estuário do Caeté dos anos interpretados com os respectivos transectos e a linha de base.....	123
Figura 43	– Tabulação dos dados de taxa de variação em metros pelos métodos EPR e LRR. Na do estuário do rio Caeté.....	124
Figura 44	– Setor oeste da ria no estuário do rio Caeté.....	125
Figura 45	– Setor leste da ria do estuário do Caeté.....	126
Figura 46	– Praia de Ajuruteua.....	127
Figura 47	– Cordão arenoso em 2007, formação de bancos de areia nos anos de 2015 e 2018, no círculo vermelho é possível observar área com sedimentação e mortandade de mangue.....	128
Figura 48	– Série temporal com dados do sensor EVI2-MODIS e precipitação acumulada mensal do TRMM de 2000 até 2019.....	131
Figura 49	– Setor do alto curso da bacia do Rio Caeté, correspondente a parte do município de Bonito.....	133
Figura 50	– Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Caeté.....	135
Figura 51	– Matriz de transição entre as classes de uso.....	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos de abordagem e modelos de simulação de paisagem	28
Quadro 2 – Elementos dos Modelos de Simulação de Paisagem (MSP).	32
Quadro 3 – Etapas da pesquisa desenvolvida na tese.	45
Quadro 4 – Detalhamento dos sensores utilizados e hora de aquisição.	52
Quadro 5 – Unidades de vegetação na península	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Temperatura (°C).....	112
Tabela 2	–	Precipitação (mm).....	112
Tabela 3	–	Temperatura (°C) comparação entre estações.....	113
Tabela 4	–	Precipitação (mm) comparação entre estações.....	114
Tabela 5	–	Anos com extremos secos de precipitação (mm). P10 em negrito.....	120
Tabela 6	–	Anos com extremos chuvosos de precipitação (mm). P90 em negrito.....	120
Tabela 7	–	Classificação dos anos com El Niño e La Niña por intensidade, de acordo com os valores do índice ONI, de 1972a 2016. Em destaque os anos em que ocorreram extremos climáticos segundo os dados da estação de Tracuateua.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
SIBI	Sistema Integrado de Bibliotecas
trad.	Tradutor
UFPA	Universidade Federal do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO	23
2.1	Geoecologia da Paisagem	23
2.2	Bacia hidrográfica enquanto unidade espacial	25
2.3	Modelagem e Geotecnologias	26
2.3.1	<i>Modelos em Geografia</i>	27
2.3.2	<i>Modelagem e simulação de mudanças na paisagem</i>	29
2.3.3	<i>Tipos de dados e Modelos de Simulação de Paisagem (MSP)</i>	31
2.3.4	<i>Modelos de Simulação: regras de transição e metodologias</i>	33
2.4	Sensoriamento Remoto e observação sinótica da paisagem	35
2.4.1	<i>Dados do Projeto MapBiomas</i>	40
2.5	Cenários e Modelos Globais	42
2.5.1	<i>Modelos climáticos e períodos de secas na Amazônia</i>	42
2.5.2	<i>Eventos Climáticos Extremos. Histórico de Secas na Amazônia</i>	44
3	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS	45
3.1	Avaliação dos extremos climáticos	47
3.2	Dados Obtidos na pesquisa	48
3.2.1	<i>ERA-interim – Reanálise</i>	48
3.2.2	<i>Dado de Precipitação - Análise - CPC/NCEP</i>	49
3.2.3	<i>Dados das Estações do INMet</i>	49
3.3	<i>Avaliação da dinâmica costeira no setor estuarino</i>	50
3.4	<i>Recorte espacial da área de estudo baseado nos períodos de secas</i>	51
3.5	<i>Processamento Digital de Imagens de dados de SR</i>	54
4	MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA	57

4.1	<i>Procedimentos técnicos</i>	58
4.2	<i>Mapeamento das unidades geológicas e formas de uso</i>	58
5	BASES FÍSICO NATURAIS NO CONTEXTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAETÉ	61
5.1	Geologia	61
5.2	Paleogeografia e tectônica regional	62
5.3	<i>Os aspectos Paleontológicos</i>	67
5.3.1	<i>Formação Pirabas</i>	67
5.4	Geomorfologia	68
5.4.1	<i>Planície Costeira</i>	74
5.4.2	<i>Planície Estuarina</i>	75
5.4.3	<i>Planície Fluvial</i>	76
5.4.4	<i>Planalto Costeiro</i>	76
5.5	Solos	77
5.6	Clima	77
5.6.1	<i>Caracterização climática</i>	79
5.6.2	<i>Classificação Climática de Köppen</i>	79
5.6.3	<i>Classificação Climática de Köppen-Geiger</i>	80
5.7	Hidrografia	82
5.8	Vegetação	84
6	HISTÓRICO E CONTEXTO DA OCUPAÇÃO DA ZONA BRAGANTINA 89	
6.1	Primórdios históricos e projetos de povoamento	89
6.2	Primórdios históricos e projetos de povoamento	94
7	BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAETÉ	100
7.1	Zona Costeira Bragantina	102
8	RESULTADOS	104

8.1	<i>Eventos Extremos no contexto da bacia</i>	104
8.1.1	<i>Caracterização climática</i>	104
8.1.2	<i>Climatologia: Temperatura, precipitação, intensidade e direção do vento</i>	104
8.1.3	<i>Climograma</i>	104
8.1.4	<i>Análise decadal</i>	105
8.1.5	<i>Série Temporal</i>	106
8.2	Extremos Climáticos	106
8.3	Campos de Temperatura e precipitação	106
8.4	Gráfico de intensidade e direção do vento em baixos, médios e altos níveis da atmosfera	108
8.5	Séries Temporais e climogramas	109
8.6	Climogramas	110
8.6.1	<i>Climogramas - Estação de Tracuateua (Décadas)</i>	114
8.6.2	<i>Climograma da Estação de Bragança</i>	114
8.6.3	<i>Climogramas - CPC+ERA (Décadas)</i>	115
8.6.4	<i>Extremos Climáticos</i>	117
8.7	Discussões	120
8.8	Setor do Baixo Curso da Bacia do Rio Caeté	121
8.9	Dinâmica do uso e ocupação	128
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	137
	REFERÊNCIAS	141

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira historicamente foi alvo de diversos interesses e projetos, impactando diretamente sobre suas unidades geoecológicas, as formas de uso foram baseadas em séculos de exploração e encadeados por diferentes ciclos econômicos, sustentados na obtenção de uma fonte temporária que acarretou significativas transformações na cobertura florestal, sem que houvesse uma devida avaliação e mensuração dos seus impactos ao longo dos anos.

Diferentes autores (PRADO, 2021; ABAD, 2019; PUGA, 2010; ALCAMO, 2003) destacam os serviços ecossistêmicos, ecológicos e funcionais da floresta, uma ampla gama de populações tradicionais depende direta ou indiretamente dos recursos naturais advindos das florestas, seja de sua biomassa, dos solos ou recursos hídricos da região. Na mesma perspectiva, as cidades da região apresentam diferentes níveis de dependência, principalmente no que diz respeito aos fluxos produtivos e cadeias econômicas.

No cenário atual as alterações e mudanças climáticas atreladas ao desmatamento colocam as florestas tropicais como fundamentais para o debate científico e nas políticas relacionadas. O prospecto é que áreas grandes de floresta não sobreviverão às mudanças climáticas projetadas para as próximas décadas, em especial em cenários sem a mitigação do efeito estufa, tendo em vista o seu papel significativo na intensificação ou mitigação de futura mudança no clima (FEARNSIDE, 2008).

As Florestas Tropicais são extremamente vulneráveis às mudanças climáticas, sendo que o controle do desmatamento faz parte de uma estratégia de mitigação das mudanças do clima, tendo em vista que essas transformações ameaçam a biodiversidade, serviços ambientais e as populações que dependem da floresta para o seu sustento. Principalmente no Brasil, ainda em 1990, 41% de toda a vegetação ainda existente no mundo classificada como floresta tropical ombrófila estava no Brasil (FAO, 1993 apud FEARNSIDE, 2008).

O processo de desmatamento contribui para a liberação de gases de efeito estufa, como o gás carbônico (CO₂) e metano (CH₄), sejam com as queimadas ou na decomposição de árvores mortas, onde metade do peso seco de uma árvore de uma floresta tropical é carbono, em uma relação de retroalimentação positiva em potencial, conduzindo cada vez mais aquecimento e mais mortalidade (FEARNSIDE, 2008).

Nesse contexto, na região da Amazônia Oriental, a Zona Bragantina do Estado do Pará, historicamente foi uma das áreas mais ocupadas e exploradas, sendo uma região delimitada

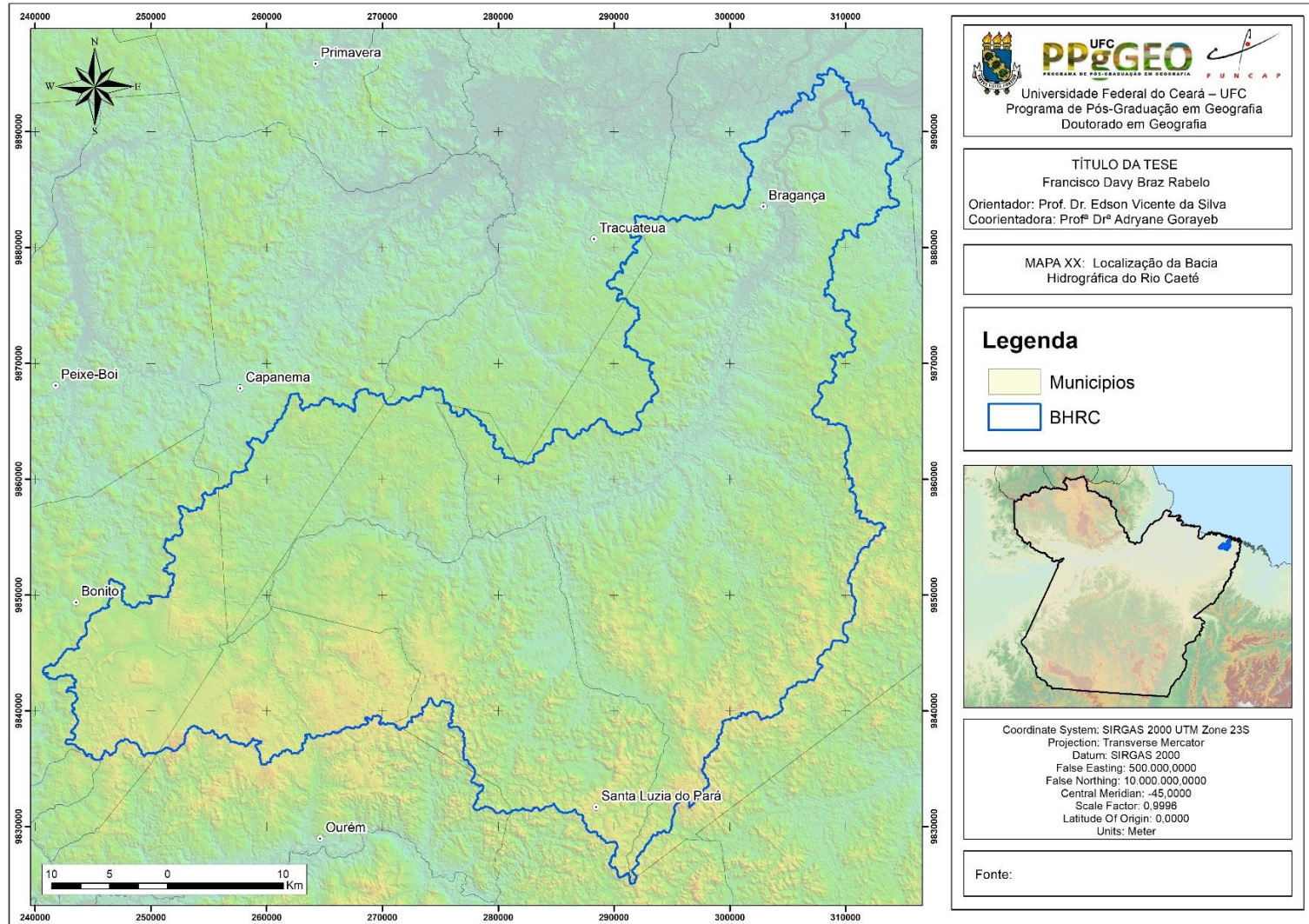
como de “vocação” agropecuária, fornecendo insumos para Belém, tendo por meio dos projetos de coloniza o um “plano” de ocupa o, atrelado a projetos de infraestrutura de rede ferroviária, estradas, forma o de colônias, culturas como a pimenta-do-reino, arroz, mandioca (CONCEI O, 1990; CRUZ, 1955; PENTEADO, 1967). A vegeta o nativa foi suprimida pelo uso principalmente da região das superfícies de terra firmes, também ocupada por matas secundárias, denominadas de capoeiras.

Bacias Hidrográficas litorâneas apresentam uma maior vulnerabilidade, em especial no seu baixo curso e área de baia adjacente, conforme indicam os trabalhos de NEVES, 2010; ALBUQUERQUE, 2015; GOMES, 2013, dado os processos dinâmicos existentes nessa zona de interface entre o continente, oceano e atmosfera.

Dessa forma pode-se destacar o fator antropog nico enquanto agente modificador da paisagem, com repercussão sobre as diferentes formas de uso e ocupa o. Para a identifica o dessas mudanças foram empregadas um conjunto de técnicas e metodologias para avaliar e quantificar as varia es da dinâmica da paisagem, permitindo uma modelagem e estudo integrado dos diferentes elementos naturais da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica do rio Caeté, como indica a Figura 01, está inserida na Região Bragantina, no contexto da macro Bacia do Atlântico Norte, Setor Nordeste do Estado do Pará, situada a cerca de 213 km da capital, Belém. Apresenta uma dinâmica condicionada pelas intera es das características continentais e oceanográficas da Amazônia Oriental, sendo um reflexo das diversas formas de uso e ocupa o desenvolvidos ao longo de décadas de explora o da região pela agropecuária e minera o.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Diversos estudos foram realizados caracterizando as condições ambientais da bacia hidrográfica e sua ocupação histórica (GORAYEB, 2008; GORAYEB *et al.*, 2009; GORAYEB *et al.*, 2011; GUIMARÃES *et al.*, 2009).

Compreendendo atualmente a área territorial dos municípios de Bragança, Tracuateua, Augusto Corrêa, Capanema, Bonito e Santa Luzia do Pará.

As formas de uso e ocupação da bacia hidrográfica são múltiplas e historicamente impactaram a região. Usos principais na atualidade estão relacionados à agricultura de subsistência e criação de gado, apresenta também o predomínio da produção de mandioca como atividade tradicional, dedicada a fabricação de farinha. Nas últimas décadas há se intensificado a monocultura do dendê (*Elaeis guineensis*) em seu alto curso.

A fabricação da farinha de mandioca é bastante artesanal, recorre a desmatamentos e queimadas ao longo das margens dos cursos d'água que constituem a Bacia Hidrográfica do Caeté. Assim, os processos de ocupação no alto e médio curso, terminam por afetar ambientalmente o estuário, devido a intensificação de processos sedimentares e poluição hídrica.

Em estruturas rústicas, utilizadas para a queima e produção, associado ao rio Caeté, onde a mandioca é estocada, dando origem ao tipo de farinha lavada. Sendo importante destacar que o baixo curso (estuário e baía) é reflexo dos processos que ocorrem na área a montante da bacia e suas áreas interiores.

O efeito da conectividade entre o continente e oceano tem importante papel na caracterização e condicionamento dos processos que ocorrem no estuário, repercutindo em seus diferentes elementos geoambientais e socioeconômicos. Os principais objetivos da pesquisa foram:

Geral:

a) Investigar e modelar as mudanças a dinâmica da forma de uso e cobertura da terra através de técnicas de processamento digital de imagens;

Específicos:

a) Mapear e discutir os padrões espaço-temporais de uso na bacia;

b) Gerar uma matriz de similaridade baseada em objeto, para avaliar as precisões geométricas e temáticas da classificação;

c) Aplicar uma modelagem preditiva de tendências futuras.

Como principais hipóteses levantadas teve-se as seguintes perguntas:

- I. O atual estágio de degradação da bacia foi condiciona pelas formas de uso inadequadas?
- II. Classificação das formas de uso e ocupação possibilitam aprimorar o atendimento da variabilidade espacial das formações floreas e suas características
- III. Classificação multitemporal das formas de uso e ocupação possibilitam aprimorar o entendimento da dinâmica espacial da bacia hidrográfica e de suas características
- IV. É possível construir modelos de mudanças do uso do solo baseados nas informações pretéritas que simulem padrões e processos de transformações espaciais?

2 REFERENCIAL TEÓRICO METODOLÓGICO

O capítulo em questão, aborda os aspectos teórico-metodológicos, enfocando na Geoecologia das Paisagens que aborda a bacia hidrográfica como unidade espacial, trata sobre a modelagem a partir do uso das geotecnologias, o sensoriamento remoto aplicado na modelagem da paisagem e cenários baseados nos modelos globais.

2.1 Geoecologia da Paisagem

A Geoecologia da Paisagem é uma proposta metodológica adotada nos estudos de Geografia, sendo aplicada na análise, planejamento e gestão ambiental de diferentes territórios. Esta concepção metodológica, por fundamentar-se em uma Teoria Geossistêmica, oferece uma contribuição essencial na compreensão da dinâmica dos sistemas naturais. Outro aporte está em propiciar fundamentos sólidos na elaboração das bases teóricas e metodológicas do planejamento e gestão ambiental, como também subsidiar a construção de modelos teóricos para incorporar a sustentabilidade ao processo de desenvolvimento (RODRIGUEZ, 2018).

Para uma adequada fundamentação teórica e metodológica quanto à Geoecologia da Paisagem e sua aplicabilidade ao estudo de bacias hidrográficas, foi efetivada uma revisão de literatura científica produzida por diferentes autores. No enfoque da Geoecologia da Paisagem, incluindo as concepções teórico-metodológicas da análise geossistêmica, a princípio foram analisadas publicações de Bertrand (2007), Christofolletti (1979), Golubev (1999), Rodriguez (2010, 2008, 2008a), Rodriguez e Silva (2004), Rodriguez, Silva e Cavalcanti, (2017), Ross (2006), Rougerie e Beroutchatchvili (1991), Silva (1998), Sotchava (1978), Tricart (1977) e Troppmair (1995). Com relação à revisão bibliográfica sobre Bacias Hidrográficas foram consultadas as publicações de Buarque (2006), CNM (2007), Ferreira dos Santos (2004), Mendez (1999), Richling (1994), Rodriguez e Silva (2004), Stipp (2000), Tricart (1977), Vainer (1995), entre outros.

A Teoria Geoecológica está alicerçada em uma base sistêmica, e fundamenta-se na análise integrada dos componentes antrópicos e naturais a partir de uma caracterização socioeconômica e natural que subsidiou a elaboração de uma documentação temática e a formulação de textos científicos e de caráter técnico operacional com vistas ao planejamento territorial. Para Rodriguez (1994), a análise sistêmica se baseia no conceito de paisagem com um "todo sistêmico" em que se combinam a natureza, a economia, a sociedade e a cultura, em

um amplo contexto de inúmeras variáveis que buscam representar a relação da natureza como um sistema e dela com o homem.

Os sistemas que formam a paisagem são complexos e requerem muitas classificações, as quais, segundo o autor, podem se enquadrar idealmente nos três principais princípios de análise: genético, sistêmico, estrutural e histórico, que se fundem em uma classificação complexa (RODRIGUEZ, 1994).

Nesse contexto, uma unidade de paisagem é entendida como um sistema aberto que está em constante interconexão com outras paisagens circunvizinhas por meio da troca de matéria e energia (RODRIGUEZ, 1994). O procedimento científico para o zoneamento de paisagens consiste em determinar o sistema de divisão territorial das unidades espaciais de qualquer tipo (administrativas, econômicas, naturais, etc.) em escala global, regional e local. O zoneamento físico-geográfico (geoecológico ou paisagístico) consiste na análise, classificação e cartografia de complexos físicos e naturais individuais, tanto naturais quanto modificados em decorrência da atividade humana, bem como a compreensão de sua composição, estrutura, relações, desenvolvimento e diferenciação.

Com relação ao planejamento e à gestão ambiental, Mendez (1999) explica que eles se fundamentam na possibilidade de pensar e criar o futuro a partir da valorização do presente e de sua articulação com o passado, agindo na ordenação da realidade territorial atual. As ações de gestão devem estar direcionadas para o uso da natureza, partindo de uma visão de inter-relações com os componentes do meio e a sociedade.

Rodriguez (2008a) acrescenta que o planejamento e a gestão ambiental constituem um processo organizado de obtenção de informações, de análises e reflexão sobre as potencialidades, problemas e limitações de um território. Podendo assim, definir metas, objetivos, estratégias de uso de projetos e atividades voltadas para a organização espacial.

Rodriguez; Silva; Cavalcanti (2013) ao lidar com a direcionalidade evolutiva e dinâmica de uma paisagem, eles afirmam que as mudanças ocorrem em uma direção específica dependendo das partes morfológicas e da fisiologia interna de cada paisagem. Eles indicam que existem três tipos de abordagens para a análise evolutiva da paisagem: paleogeográfica, estrutural-retrospectiva e espaço-tempo. Segundo esses autores, a análise paleogeográfica visa a interpretação histórica da estrutura da paisagem na formação atual, a interpretação de seus principais fatores e a direção evolutiva. Uma análise estrutural retrospectiva centra-se na cronologia e nas condições de formação da estrutura da paisagem, bem como nos aspectos que afetam a sua dinâmica e estabilidade. Por outro lado, a análise espaço-temporal visa avaliar as

tendências históricas do desenvolvimento natural e cultural, das etapas e da continuidade paisagística do território. (SILVA, RODRIGUEZ, RABELO, NETO, 2021).

Prever a formação de cenários e suas tendências evolutivas, ações (impactos) antrópicos que levem a mudanças na paisagem, como a construção de estruturas / estruturas artificiais, a exploração de substâncias naturais e de energia, bem como a vulnerabilidade, fragilidade e suporte, São levados em consideração. / capacidade de elevação de cada unidade paisagística. A potencial adaptação futura da paisagem deve ser considerada em termos de percepções das atividades humanas e equipamentos / infraestrutura, bem como formas de uso / pressões tecnológicas. O planejamento e a gestão ambiental oferecem oportunidades de uso eficiente da paisagem, formas de acesso aos seus recursos e serviços devido às suas prováveis oportunidades e limitações. (SILVA, RODRIGUEZ, RABELO, NETO, 2021).

A integração de todas essas concepções e preceitos teórico-metodológicos subsidiará a aplicabilidade de uma metodologia integrada e multidisciplinar que orientou o desenvolvimento da pesquisa e a elaboração da tese de doutorado.

2.2 Bacia hidrográfica enquanto unidade espacial

Existem abordagens espaciais e territoriais, que utilizam a região hidrográfica, tendo em vista que a bacia hidrográfica pode ultrapassar os limites políticos-territoriais de uma área pesquisada. Nesse tipo de abordagem, o território está restrito ao espaço territorial da esfera administrativa.

A escolha da bacia hidrográfica enquanto unidade de estudo foi uma opção metodológica que foi baseada nas seguintes premissas:

- a. Existe fisicamente, ou seja, é uma unidade real, composta pelos divisores de água, drenagens e área física drenada no contexto da bacia. Apesar das dificuldades de delimitação ou diferentes enfoques no que fiz respeito à escala de abrangência e subdivisões;
- b. A bacia hidrográfica é uma unidade territorial básica de análise, múltiplos autores corroboram, seja no contexto da Geografia ou nas demais áreas que trabalham com a temática;
- c. Constitui um instrumento legal, conforme a política nacional de planejamento, por meio da Agência Nacional das Águas (ANA);

d. Normalmente ultrapassa os limites territoriais de um município, denotando o caráter sistêmico dos processos e impactos relacionados no contexto da bacia, sendo necessários por parte dos planejadores e gestão uma visão integrada dos processos.

Carvalho (2018) cita ainda que, perante a sua complexidade de e entre seus componentes, os cursos d'água ao serem compreendidos como sistemas ambientais complexos, conforme defendem Bertalanffy (1975), Sotchava (1977), Christofolletti (1979) e Christofolletti (1981), seus componentes atuam integradamente com três elementos: o todo, as partes e a sua interrelação. E que, a simples interação entre esses elementos não forma um sistema se não for capaz de criar algo que funcione como um todo integrado.

Determinar os limites e reconhecer o ambiente físico da bacia hidrográfica como uma visão de planejamento estratégico traz para a bacia o conceito de divisão territorial como uma célula de análise complexa que permite estabelecer uma conexão entre a organização espacial dos grupos sociais e aspectos da. o ambiente. físico. Segundo Souza (2013), do ponto de vista geográfico de uma bacia hidrográfica, a ideia desse trecho espacial deve ser utilizada como unidade de ordenamento do território, visto que se trata de uma unidade de sistema e possui escala adequada ao planejamento (CARVALHO, 2020).

Uma das dificuldades encontradas ao longo da pesquisa foi a delimitação espacial da Bacia Hidrográfica do rio Caeté, por localizar-se no litoral amazônico, que consiste em um ambiente ímpar no contexto da América do Sul. Em seu baixo curso, configura-se através de uma morfologia de rias e vales afogados, por serem antigos ambientes fluviais e pela área estar condicionado por processos oceanográficos de macromarés, sua morfologia local é dominada pelo afogamento dos vales fluviais pela ação marinha, além de entulhar materiais finos de origem marinha e continental.

2.3 Modelagem e Geotecnologias

As geotecnologias estão cada vez mais inseridas nas mais diversas aplicações da ciência e sua aplicabilidade na sociedade, subsidiado pelo desenvolvimento tecnológico das últimas décadas do século XX e início do terceiro milênio. É fruto de um importante arcabouço técnico desenvolvido inicialmente para aplicações bélicas e que ao longo do tempo foram empregadas em atividades do cotidiano.

Um dos grandes exemplos foram os avanços tecnológicos ocorridos durante o momento da corrida armamentista do pós-Segunda Guerra Mundial, período denominado de

Guerra Fria, onde os satélites, sistemas de posicionamento global e as imagens orbitais foram desenvolvidas, implementadas e aprimoradas.

No contexto das ciências humanas, a Geografia ganha destaque na utilização das mais diversas ferramentas, seja na espacialização das informações de cunho ambiental, econômico, social e cultura, por meio da análise do espaço por meio dos sistemas de informações geográficas e de diversas técnicas de geoprocessamento, utilizando ferramentas matemáticas e estatísticas na análise espacial. Por outro lado, são apresentadas as informações geradas por meio do processamento digital de imagens, utilizando principalmente como dados as imagens oriundas de sensoriamento remoto orbital, suborbital e terrestre.

2.3.1 Modelos em Geografia

Um modelo pode ser entendido enquanto uma representação simplificada da realidade (CHRISTOFOLETTI, 1999; HAGGETT; CHORLEY, 1967). Existem diferentes tipos de modelos, sejam eles matemáticos, estatísticos, gráficos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Os mapas são representações cartográficas da realidade, dessa forma podem ser considerados como modelos (BOARD, 1972), atrelados a eles a questão da representação e abstração dos fenômenos, onde a realidade é apresentada em um plano bidimensional.

Os autores pioneiros que contribuíram com a construção de modelos em geografia foram Richard Chorley e Haggett (JOHNSON; CHORLEY; HAGGETT, 1970; PEDERSEN; HAGGETT; CHORLEY, 1971; CHORLEY; HAGGETT, 2013) inclusive em diversas perspectivas, em modelos socioeconômicos, físicos e integrados (TAYLOR, 1977; GERARDI, 1981; GODOY, 2010). Christofolletti (1999), destaca que na complexidade da realidade os modelos são importantes ferramentas, pois por meio da simplificação podem ser elencadas variáveis relevantes, auxiliando em uma construção adequada às necessidades objetivadas.

No que diz respeito a modelagem através dos dados matriciais, é importante compreender que as variações representadas em imagens constituem um certo nível de abstração da realidade, pois matrizes com valores numéricos discretos representam apenas bidimensionais fenômenos complexos e multidimensionais, ou seja, simplificam por meio de uma representação de continuidade por meio dos valores de células (pixels) uma parte restrita a duas dimensões (largura e comprimento). Para finalidades que envolvam avaliações de métrica da paisagem, cálculos de áreas e distância, dependendo dos contextos e principalmente das escalas pretendidas as distorções são consideráveis, em especial em áreas com grandes

variações de caráter altimétrico.

Existem algumas definições e perspectivas sobre a modelagem, revistas por Carvalho (2016), no Quadro 1:

Quadro 1 - Exemplos de abordagem e modelos de simulação de paisagem

Abordagem e tipologia	Autor
Modelo de Simulação da Paisagem	CARVALHO, 2016
<i>Land Simulation Models</i> , técnicas de investigação de dinâmicas de uso/cobertura de solo em diferentes escalas	CARVALHO, 2016 <i>apud</i> ALMEIDA <i>et al.</i> , 2007
Visa construção de cenários futuros por meio da simulação em ambiente computacional, possibilitando mapear e identificar os impactos que as propostas causarão antes de suas implementações	CARVALHO, 2016
Acepção de que o modelo pode ser entendido como uma estruturação simplificada da realidade	HAGGETT; CHORLEY, 1967, 1975
Modelo é a reconstrução da realidade, objetivando prever um comportamento, transformação ou evolução	CHRISTOFOLETTI, 1999
Modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosas por obscurecer detalhes acidentais e permitir o destaque de aspectos fundamentais da realidade	CARVALHO, 2016
Transposição e elaboração de esquema representativo. Não é a realidade em si que se encontra representada, mas uma visão subjetiva de como se percebe e se compreende a realidade	CARVALHO, 2016
Paisagem é a junção entre o ambiente natural e ação antrópica, onde a natureza é o meio de transformação e ação antrópica agente de transformação junto com a modalidade cultural	CARVALHO, 2016 <i>apud</i> SAUER, 1925
Paisagem incorpora ao suporte físico os traços do trabalho humano, sendo este o agente do sítio em que habita	CARVALHO, 2016 <i>apud</i> HOLZER, 1997
A paisagem se transforma para se adaptar às novas necessidades da sociedade	CARVALHO, 2016 <i>apud</i> SANTOS, 1997
Padrões Espaciais/Arranjo Espacial/ConFiguração Espacial, sendo influenciado por fatores naturais e antrópicos. São entendidos como o arranjo espacial dos elementos, sua forma de conjunto de objetos ou formas espaciais criadas pelo ser humano ou natureza se distribuem no espaço geográfico ao longo do tempo	CARVALHO, 2016
Importante compreender a dinâmica espaço-temporal, pela evolução dos processos e padrões e consequentemente a conFiguração da paisagem futura	CARVALHO, 2016
Modelos de Simulação (<i>Simulation Models</i>) auxiliam na compreensão das condições e formas de mudanças da paisagem	CARVALHO, 2016

Fonte: Carvalho (2016)

Pode-se abranger diferentes concepções de modelos que corroboram com a perspectiva da paisagem enquanto categoria de análise geográfica, permitindo um nível de abstração para compreensão da realidade complexa.

2.3.2 Modelagem e simulação de mudanças na paisagem

A representação e diagnóstico da realidade são etapas básicas no processo de estudo do meio, meio ambiente e da paisagem. Contudo, são instrumentos estanques, retratando um determinado recorte temporal, ou seja, a dimensão temporal é comprometida. Nessa perspectiva, a modelagem dinâmica da paisagem tem como objetivo compreender as dinâmicas espaço temporais, adicionando-se a dimensão tempo (LANG; BLASCHKELIU, 2009).

Para superação dessa barreira existe a possibilidade de construção de cenários, por meio da modelização de cenários futuros, que tem como objetivo a compreensão dos eventos porvindouros por meio da avaliação de possíveis ocorrências, sendo este um dos grandes desafios contemporâneos. As previsões são importantes instrumentos para poder subsidiar ações de planejamento e gestão dos territórios, tendo em vista o caráter dinâmico das relações entre sociedade e natureza. Baseado em determinados cenários, são construídas possibilidades de ocorrência e variações de prognósticos (RODRIGUEZ et al., 2018).

As ferramentas computacionais, como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são de valiosa ajuda para estudo do espaço físico, pois possibilitam desenvolver trabalhos com diferentes modelos espaciais de dados, utilizados para representação de informações. Sua aplicação, no planejamento ambiental, pode correr a partir de dados gerados por meio de imagens oriundas do sensoriamento remoto, que é um recurso de apoio importante, possibilitando correlacionar aspectos físicos, bióticos e antrópicos da paisagem, propiciando análise integrada de componentes, gestão com a espacialização dos fenômenos, simulações futuras, por meio da combinação de eventos de ocorrência provável, entre outras aplicabilidades (SILVA, 2001).

Além disso, a análise da dinâmica espacial da superfície terrestre por meio de produtos de sensoriamento remoto permite uma visão sinótica da paisagem, através do “olhar vertical” sobre os fenômenos que possuem um caráter dinâmico, tendo em vista que uma parte desses processos deixam evidências na paisagem e podem ser interpretados e mensurados por meio das imagens. Por sua vez, estas podem ser descritas através de chaves de interpretação visuais (tonalidade, textura, tamanho, sombra, forma, etc) gerando elementos gráficos que permitem a confecção de mapas temáticos e representações da realidade (FLORENZANO, 2007).

Miranda, Castro e Kjerfve (2002) conceituam esses elementos em relação as diferentes dimensões de representação da realidade por meio de primitivos gráficos, onde nos

tradicionais pontos, linhas e polígonos são simulados respectivamente uma informação adimensional, apenas as coordenadas baseadas em algum sistema de referência com uma dimensão, comprimento do fenômeno linear e duas dimensões, largura e comprimento, gerando uma área, sendo esta última a mais utilizada na representação de fenômenos ambientais. Destacam-se, ainda, os dados tridimensionais, comumente com dados altimétricos e os dados com quatro dimensões, onde entra o tempo, ou seja, dimensão espaço-tempo ou o complexo espaço temporal, uma importante ferramenta na representação de modelos dinâmicos da realidade.

Para o Geographical Sciences Committee (2014 apud CARVALHO, 2016), modelos são construídos para testar teorias e conceitos de alteração da paisagem associados com dinâmicas humanas e ambientais e suas implicações dinâmicas em projeções futuras baseadas na observação do mundo real.

Os autores ainda indicam que para realizar modelagem e simulação de Mudanças da Paisagem, são necessárias as seguintes etapas:

- a) Definição do Objeto: definir fenômeno.
- b) Estruturação do Modelo Conceitual: levantamento das entidades e relacionamentos que se dão no fenômeno (comportamento espaço-temporal).
- c) Formulação Matemática: hipóteses qualitativas expressas em linguagem matemática. Transição da interpretação subjetiva para equações (rigor matemático), incorporam apenas as propriedades relevantes.
- d) Verificação / Teste Integridade: aplicação do modelo e verificação das conexões e considerações. Avaliar valores, unidades, equações que são utilizadas para representação, ou seja, verificar os códigos computacionais e algoritmos em suas definidas relações matemáticas. Por meio de técnicas numéricas em procedimentos computacionais;
- e) Calibração: avaliar/testar se valores dos coeficientes das equações estão corretos, se as variáveis respondem ao modelo e se o modelo chega a um resultado aceitável.
- f) Validação: verificar se os resultados são confiáveis e o quão próximos da realidade estão utilizando-se de dados diferentes da calibração; T^1 para T^2 comparando-se os dados de simulação com o cenário real.

g) Simulação Modeladas: descrição do futuro e dos caminhos que levarão a ele. São os resultados do modelo após a simulação dos pressupostos adotados e das regras de transição aplicadas de T2 e T3.

h) Construção de Cenários: após a validação do modelo e projeção das mudanças de paisagem, parte-se para a configuração com a formulação de possibilidades territoriais, criando a suposição de algo verossímil, possível de ser verificado, a partir do qual são extraídos os resultados. São verificadas as chances ou possibilidades de um determinado fenômeno acontecer, ou ser intensificado/minimizado diante de condições previamente estabelecidas e validadas (T31, T32... T3n).

Em contra partida, Silva et al, 2021, destacam que na modelagem de cenários futuros, o mapeamento temático é importante para sua representação espacial. As escalas cartográficas devem corresponder plenamente às dimensões territoriais e ao sistema de gestão vigente. Em princípio, pelo menos quatro tendências dominantes podem ser previstas: (i) evolução territorial que segue o processo prevalecente e encontra-se em funcionamento, que pode ser projetada a partir de uma análise retrospectiva detalhada e é cronologicamente representativa e adequada à realidade territorial atual; transformação da paisagem, (iii) inclusão de novas tecnologias e formas de uso e ocupação, novas formas de paisagens artificiais como crescimento urbano vertical, estruturas de produção agroindustrial, parques de produção de energia (hidroelétricos, eólicos e solares) entre outras inovações nos usos e classes tradicionais e anteriormente dominantes; e (iv) inclusão de procedimentos adequados de planejamento e gestão, aplicação de políticas estaduais voltadas ao ordenamento do território, organização das áreas públicas, cumprimento da legislação ambiental e elaboração de master municipal plano, que criei com base na participação democrática e coletiva de todas as entidades municipais e locais.

2.3.3 Tipos de dados e Modelos de Simulação de Paisagem (MSP)

Na implementação de modelos de simulação existem algumas premissas que podem ser utilizadas para representação espacial, como indica o Quadro 02:

Quadro 2 - Elementos dos Modelos de Simulação de Paisagem (MSP).

Elemento	Descrição	Autor
Condição	<i>Pure pixels</i> , adesão completa a exatamente a uma categoria, devendo possuir apenas a resposta espectral do alvo. Contrário de pixels, que têm adesão parcial para mais de uma categoria com resposta espectral de diferentes alvos	CARVALHO, 2016
Temático	Classificação Temática com valor único em cada pixel, tipologia de uso/ocupação	CHANG, 1999 <i>apud</i> CARVALHO, 2016; PONTIUS, JR. <i>et al.</i> , 2008; VALENCIA <i>et al.</i> , 2005
Dados Básicos	Mapeamento de uso ou cobertura do solo e variáveis explicativas do objeto de estudo. Esse mapeamento constitui a compreensão à caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre	CARVALHO, 2016
Classes de cobertura	Vegetação densa, vegetação rasteira, água, área construída, solo exposto. Já o uso do solo, propósitos humanos associados ao território, pecuária, recreação, conservação, área de residência e mineração	CARVALHO, 2016
Variável explicativa	Auxilia na elaboração de regras de transição de uso/cobertura do solo de acordo com o modelo escolhido, compreendido como motivadores ou catalizadoras ou inibidoras de transformação	CARVALHO, 2016
Dados de Cobertura	Os dados de cobertura comumente são elaborados a partir de Sensoriamento Remoto.	CARVALHO, 2016
	Outras técnicas podem auxiliar melhorando a qualidade da informação extraída dos dados de sensoriamento:	
	Geoestatística	KALIRAJ <i>et al.</i> , 2012 <i>apud</i> CARVALHO, 2016
	Inteligência Artificial	GHOSH <i>et al.</i> , 2008 <i>apud</i> CARVALHO, 2016
	Análises Temporais	VERBESSELT <i>et al.</i> CARVALHO, 2016

Fonte: Adaptado de Carvalho (2016).

Além dos elementos indicados outros aspectos ainda podem ser destacado, conforme Carvalho (2016):

- a) Avanços empregados no SR são os algoritmos de classificação orientada a objetos;
- b) Maior variedade de sensores orbitais, com oferta de dados com resoluções

espacial, temporal, espectral e radiométricas;

c) Uso de dados de uso do solo baseados em dados cadastrais disponíveis nas prefeituras, ou por levantamento de campo;

d) Os dados de cobertura são usualmente aplicados em estudos de modelagem de padrões, já o uso do solo em modelagem de processos (CARVALHO, 2016).

Carvalho (2016) indica ainda que dependendo da complexidade do modelo de simulação, podem ser adicionadas variáveis auxiliares na composição das regras de transição. Denominadas de variáveis explicativas, adicionais, drivers ou independentes, podendo ser estimuladoras ou restritivas ao processo de mudança como estimuladoras: tipologias de zoneamento, etc...

a) Variáveis adicionais restritivas podem ser citadas como grandes estruturas urbanas que funcionam como atrito ao crescimento da malha.

b) Datas no modelo de simulação.

c) Todos os modelos apresentam uma importante propriedade: contêm algum nível irreduzível de incerteza, podendo ser inerente à estrutura de modelo (equações básicas ou algoritmos) aos valores dos parâmetros, aos dados de entrada ou a todos eles acumulados;

Por outro lado, também é destacado o elemento da incerteza, que é endêmica nos estudos que se referem a decisões sobre o estado físico e a função dos sistemas terrestre (CARVALHO, 2016).

Segundo o *Geographical Sciences Committee* (2014 apud CARVALHO, 2016), o estado futuro do sistema do solo é determinado por uma combinação de restrições individuais e sociais e por oportunidades sobre quais ainda devem ser tomadas decisões no sentido de minimizar incertezas:

a) - SRC;

b) - Modelos de dados espacial;

c) - Retângulo envolvente;

d) - Mesmo tamanho do pixel;

e) - Escala.

2.3.4 Modelos de Simulação: regras de transição e metodologias

No contexto dos modelos de simulação, as técnicas estatísticas são referências para

calcular probabilidade das mudanças. Já métodos espacialmente explícitos ou não para alocar no espaço geográfico as mudanças verificadas (CARVALHO, 2016). O autor ainda indica que para o cálculo das probabilidades de transição dois métodos são mais usuais: Regressão e Cadeia de Markov.

Para a locação das mudanças no espaço geográfico, recorre-se a métodos espacialmente explícitos, ou seja, que consideram a localização espacial no momento de alocar as mudanças no território: Autômatos Celular e Reder Neurais.

Em contraste às variáveis endógenas, outras abordagens de métodos baseadas em *Exogenous Quantity*, que não consideram o fator espacial na locação das mudanças, mas apenas o valor informado da quantidade da mudança nessa aplicabilidade estão (CARVALHO, 2016):

- a) Modelo de Simulação e variáveis drivers;
- b) Métodos de autoaprendizagem e metodologias de projeção baseada em *Exogenous Quantity e Machine Learning*;
- c) *Exogenous Quantity* o modelador especificará a quantidade de mudanças que cada categoria terá no mapa predito (futuro) e que esta predição independe da localização inicial das categorias analisadas. Onde o valor a ser informado pode ser calculado usando diferentes técnicas, como regressão linear, regressão logístico e Cadeia de Markov (BREDEWEG *et al.*, 2007; CARVALHO, 2016 apud GOMES, 2013; PONTIUS JR. *et al.*, 2008).
- d) *Exogenous Quantity*, apenas sozinha não apresenta a possibilidade de usar variáveis, “drivers” ou variáveis “explicativas de mudança”, sendo mais interessante a aplicação desta técnica com outra que possa identificar as regras de transição. Ela desconsidera a localização inicial da classe a ser projetada, o “onde” seja relevante, exigindo associação com outros aplicativos para essa função (CARVALHO, 2016).
- e) *Machine Learning* envolve abordagens para representar relações entre entradas (variáveis de condução) e saída (mapa de resultado). Diferentes dados (variáveis explicativas) são usados para gerar mapas de potenciais de transição que dão uma medida empírica (data driven) para a possibilidade de transições (CARVALHO, 2016).

Um dos critérios para prever tendências de desenvolvimento de cenários territoriais e paisagísticos é a avaliação de possíveis instituições de projetos de desenvolvimento

socioeconômico na região. Como a criação de assentamentos rurais / urbanos, a construção de barragens, a transferência de bacias hidrográficas, a construção de áreas portuárias, indústrias e zonas francas, entre outras possibilidades. Por outro lado, com ênfase na proteção ambiental, também avaliar as possibilidades de interpretação de estratégias regionais de conservação / conservação em larga escala como parques nacionais / estaduais, florestas nacionais, estações ecológicas, terras indígenas e / ou quilombolas, ou seja, ações que limitam / estadual o uso da terra do território (SILVA et al, 2020).

Por fim, Silva et al, 2020, destacam que com o auxílio de diagnósticos espaço-temporais retrospectivos, é possível verificar tendências na expansão das formas de uso e ocupação (residencial, comercial, industrial, agrícola), redução / aumento das unidades geológicas naturais / iniciais devido aos processos ecológicos (erosivos impactos e / ou sedimentação), sucessão ecológica (regeneração e colonização de plantas) e possibilidade de recuperação de um ambiente degradado, bem como o surgimento de novas tecnologias de produção. Conhecer todas essas informações e prever sua possível distribuição espacial no território é importante para a previsão de cenários futuros.

2.4 Sensoriamento Remoto e observação sinótica da paisagem

O sensoriamento remoto é uma técnica que consiste na aquisição de dados sem o contato físico com os alvos, permitindo a geração de imagens de determinadas regiões do espaço. É “Arte e ciência da obtenção de informação sobre um objeto sem contato físico direto com ele. É a tecnologia científica que pode ser usada para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas” (JENSEN, 2009, p.30).

A sua aplicação na análise e planejamento do ambiente através de imagens de teledeteção é um importante recurso auxiliar, pois permite correlacionar os aspectos físicos, bióticos e antropogênicos da paisagem. Fornece análise de componentes integrados, gerenciamento espacial de fenômenos, simulação do futuro por meio de uma combinação de eventos prováveis de ocorrência, entre outros (SILVA, 2001).

Apesar de muitas vezes ser compreendida enquanto uma técnica contemporânea, sua origem remonta ao século XIX, praticamente em paralelo ao desenvolvimento da fotografia. As primeiras imagens de sensoriamento remoto foram geradas em plataformas inusitadas, como pombos e balões. No século XX, adaptados a planadores e aviões, dando origem a uma ciência denominada de aerofotogrametria, principalmente na Segunda Guerra Mundial onde foram

geradas milhões de fotografias aéreas (JENSEN, 2009).

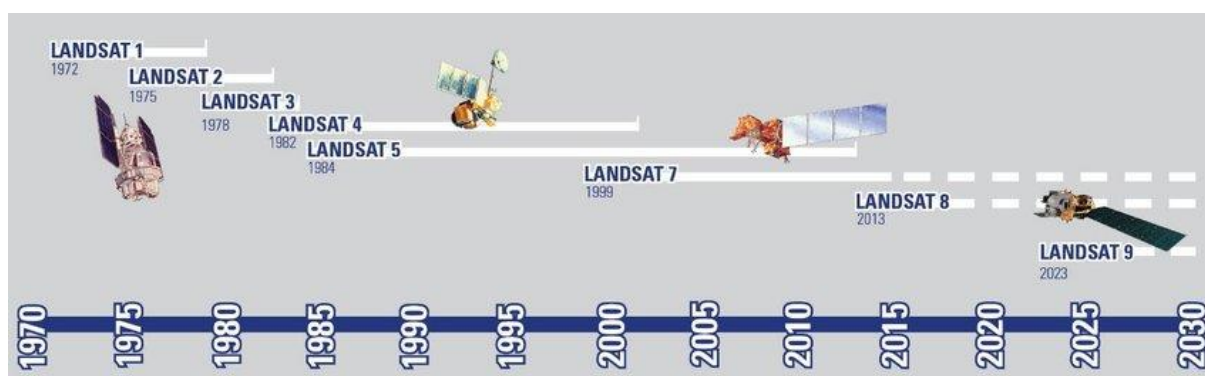
A partir da década de 1960, as questões ambientais entraram em destaque em escala mundial, nesse contexto os Estados Unidos da América desenvolveram o satélite *Earth Resources Technology Satellite-1* (EARTS 1), que posteriormente foi denominado de *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), que tinha como premissa a utilização de imagens orbitais para o estudo dos recursos naturais terrestres (LORENZZETTI, 2015).

No ano de 1972, o primeiro satélite de monitoramento dos recursos naturais foi colocado em órbita, seguido por 7 missões ao longo das décadas, sendo um programa pioneiro na geração e disponibilização de imagens para estudos das dinâmicas ambientais em diferentes escalas. (NOVO, 2010)

Inicialmente, o denominado de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), foi projetado na década de 1960 e lançado em 23 de julho de 1972, tendo como objetivo a observação dos recursos naturais terrestres e suas respectivas mudanças, sendo o primeiro satélite da história desenvolvido com essa finalidade.

Em 1975, passou a ser chamado de LANDSAT, foram lançadas diferentes operações portando distintos sensores *Multispectral Scanner* (MSS): L1, L2, L3 (1972-1992), *Thematic Mapper* (TM): L5 (1984-2011), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM +): L7 (desde 1999) e *Operational Terra Imager* (OLI): L8 (desde 2013). Conforme é possível observar na linha de tempo da Figura 2. Apesar das distintas resoluções e tecnologias dos instrumentos aprimoradas durante o tempo se consolidou como o maior programa com dados contínuos da superfície terrestre (JENSEN, 2009; LORENZZETTI, 2015; NOVO, 2010).

Figura 2 - Linha do tempo programa Landsat.



Fonte: USGS, 2018.

O monitoramento de desmatamento e das transformações resultadas das formas de

uso e ocupação é uma ferramenta importante para definição de políticas públicas que envolvem ações de prevenção e monitoramento das áreas modificadas. Historicamente, os dados de sensoriamento remoto são os principais insumos para caracterização dessas áreas, destacando-se a nível mundial na geração de produtos orbitais passivos o programa *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM).

Outras agências espaciais desenvolverem importantes projetos ligados ao monitoramento dos recursos naturais, como a *European Space Agency* (ESA), *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e a nível nacional existe o projeto de cooperação entre a Agência Espacial Brasileira (AEB) e Administração Nacional Espacial da China (CNSA) com o programa *China-Brazil Earth-Resources Satellite* (CBERS).

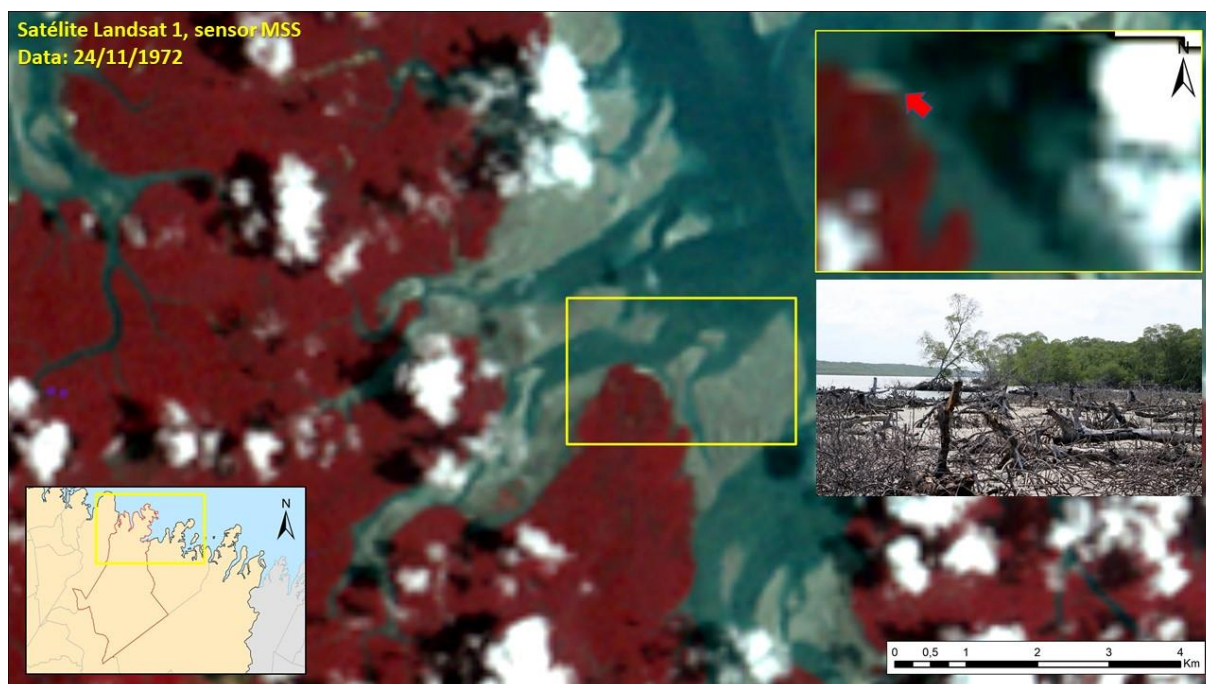
A respeito do processo de obtenção das imagens, Florenzano (2007) define que os dados provenientes dos sistemas de sensores embarcados nas plataformas podem ser classificados de acordo com:

- a) Níveis de Aquisição (orbital, suborbital e terrestre);
- b) Tipos de sensores (passivos e ativos) e;
- c) Resolução (espacial, radiométrica espectral e temporal).

Outras imagens como as de perspectiva oblíquas são importantes ferramentas, por apresentarem em perspectiva os elementos da morfologia urbana, além dos aspectos ambientais realçados por meio da perspectiva do terreno.

Em áreas trópicas e subtropicais úmidas, em que há uma evapotranspiração significativa, a utilização de sensores passivos é bastante limitada, principalmente em áreas com extensão territorial expressiva. Segundo NOVO (2016), sendo a melhor alternativa a utilização de sensores ativos, que apresentam boa alternativa técnica, como exemplo no território do Nordeste Paraense. Todavia, na atualidade, apresentam menor disponibilidade de plataformas com dados gratuitos.

Figura 3– Exemplo do uso de sensoriamento remoto, como pode ser visualizado na Região Região bragantina do Pará no ano de 1972.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

No Brasil as primeiras imagens foram geradas ainda em 1972, como é possível observar Figura 2, apesar da intensa nebulosidade, alguns detalhes da vegetação arbustiva no detalhe da fotografia no carto direto com o contexto atual da região, Figura 02.

Historicamente, os estudos ligados às formas de uso e ocupação, estão atrelados diretamente ao uso de produtos de sensoriamento remoto. Um dos estudos pioneiros na Amazônia brasileira foi o projeto Radam (Projeto Radar da Amazônia). Denominado de RadamBrasil a partir de 1975, expandido posteriormente para praticamente todo o território nacional, entre 1970 a 1985 (BRASIL, 1973; LIMA, 2008; VILAS BOAS, 2012).

Pelas questões tecnológicas, atmosféricas, tempo e escala foram utilizadas uma inovação tecnológica que na época foi um sensor ativo de radar com visada lateral *Side-looking Airborne Radar* (SLAR) denominado de GEMS (*Goodyear Mapping System 1000*), operante na banda X, com comprimentos de onda próximos a 3 cm e frequência entre 8 e 12,5 GHz, aerotransportado em aviões para geração de produtos e posterior interpretação e análise (CPRM, 2019). Dessa forma, praticamente todo território brasileiro foi imageado na escala original de 1:400.000, pelo sistema de radar da GEMS no período de 1971/1972 e 1975/1976 (FLOREZANO, 2003).

A nível nacional, na atualidade, não existe nenhum sistema sensor radar em nível

orbital gerador de imagens disponível, sendo necessário recorrer a imagens geradas por outros países com os sensores ALOS PALSAR-1, 2; COSMO-SkyMed-1-2-3-4; RADARSAT-1 e 2; Sentinel-1; TerraSAR X-1 e 2 (TanDEM-X); OrbiSAR-1 (bandas X e P).

Esses levantamentos permitiram os primeiros mapas de uso e potencial da terra da Região Bragantina, gerados pelas folhas SA.23 São Luís e Parte da Folha SA.24 Fortaleza, objetivando a avaliação média da capacidade natural do uso da terra. Azevedo *et al.* (1973) apresentam também uma avaliação-síntese da interação dos fatores clima, relevo, solo, vegetação, elaborado na escala de 1:1.000.000 (VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, 1982).

No Brasil, um dos principais projetos de monitoramento de desmatamento são o PRODES e DETER, que utilizam os dados do Landsat. O primeiro tem como objetivo quantificar o desmatamento efetivo, por meio do indicativo do corte raso, no total de supressão da vegetação, definindo uma máscara de desmatamento, com uma resolução de 6,2 hectares. O segundo é um sistema de alerta de áreas que estão sendo degradadas, novas áreas através do corte seletivo, supressão de parte da vegetação ou queimadas, com resolução de 1 hectare (NOVO, 2010; INPE, 2018).

Mudanças no uso e cobertura da terra estão ocorrendo em um ritmo acelerado e têm impactos profundos sobre os recursos naturais, a biodiversidade e as pessoas, sendo as mudanças nas formações florestais as mais importantes, pois têm o potencial de fixar carbono, proteger o solo, a água, etc. biodiversidade no sistema (ROSA, 2016).

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2017), os resíduos florestais da Amazônia são monitorados atualmente por um conjunto de quatro sistemas operacionais: PRODES, DETER, DEGRAD e DETEX, nos quais esses sistemas se complementam. O PRODES é um programa de desmatamento baseado em satélite que fornece informações desde 1988 sobre a taxa anual de desmatamento na região (PRODES, 2017).

No entanto, outros produtos de cobertura da terra, como MapBiomas, estão cada vez mais sendo usados na região amazônica. Este produto visa contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia rápida e confiável para processamento de conjuntos de dados em larga escala, gerando séries históricas de mapas de cobertura e uso do solo a baixo custo (SOUZA JUNIOR, 2017). A coleção foi construída ao longo dos anos e tem como base a metodologia proposta pelo Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia), que são os algoritmos aplicados na plataforma Google Earth Engine utilizando os produtos da série Landsat (MAPBIOMAS, 2017).

2.4.1 Dados do Projeto MapBiomass

MapBiomass é uma iniciativa de monitoramento colaborativo de código aberto criada em 2015 para preencher a lacuna de informações no Brasil. Ele inova ao trabalhar em uma rede formada por organizações não governamentais, universidades e empresas privadas, organizadas em torno de biomas e temas transversais (pastagens, agricultura e zonas costeiras) (SOUZA, 2017).

Um dos seus diferenciais é que o mapeamento produzido pela Mapbiomas, segue baseado em imagens de satélite Landsat, mas o processo de classificação é na sua integridade automatizado usando imagens de infraestrutura em nuvem usando Google Earth Engine (GEE) e armazenamento usando Google Cloud, conforme indica Figura 4. Identificando a cobertura do solo já desmatada, não apenas a remoção da cobertura de floresta primária. Para tanto, são utilizados mosaicos anuais de imagens Landsat, com base em períodos pré-determinados, a fim de reduzir a nebulosidade e aumentar o contraste espectral para distinguir as classes de cobertura (MARUANO, ESCADA, 2019).

Figura 4 - Metodologia MapBiomass



Fonte: MAPBIOMAS, 2020.

As principais classes encontradas no mapa são: floresta, formações naturais sem origem vegetal, agricultura, território sem vegetação e corpos d'água (Figura 5). O processo de classificação automática de mosaicos de imagens Landsat é realizado através dos algoritmos de árvore de decisão do tipo Random Forest disponíveis na plataforma GEE. Como a classificação é feita pixel a pixel, a área mínima exibida no projeto é equivalente a 900 metros (30 x 30

metros). Mapbiomas está trabalhando com um conceito de coleta de dados e atualmente está na versão 6.0. Com cada nova coleção, todo o conjunto de dados anterior é reprocessado com base em novos métodos e algoritmos (MARUANO, ESCADA, 2019).

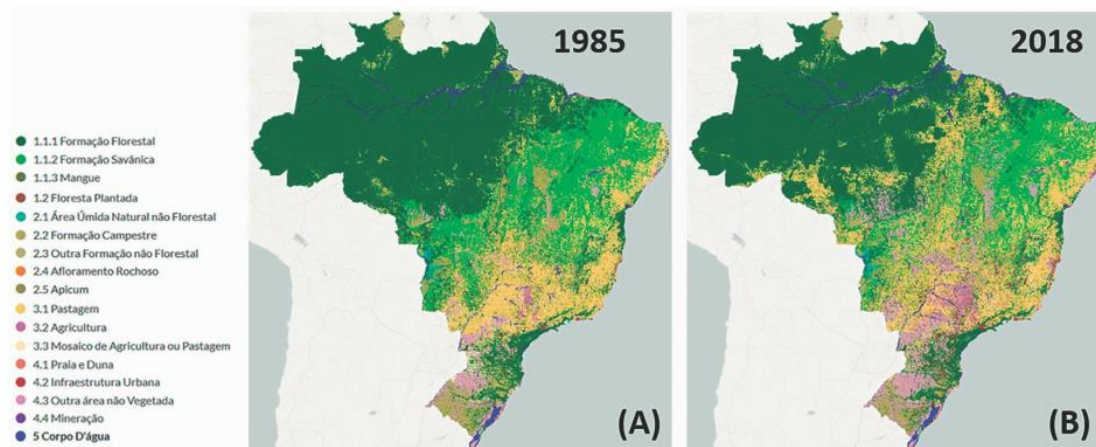
Figura 5 – Classes de uso do solo

1. Floresta	3. Agropecuária
1.1. Floresta Natural	3.1. Pastagem
1.1.1. Formação Florestal	3.2. Agricultura
1.1.2. Formação Savânica	3.2.1. Cultura Anual e Perene
1.1.3. Mangue	3.2.2. Cultura Semi-Perene
1.2. Floresta Plantada	3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem
2. Formação Natural não Florestal	4. Área não vegetada
2.1. Área Úmida Natural não Florestal	4.1. Praia e Duna
2.2. Formação Campestre	4.2. Infraestrutura Urbana
2.3. Apicum	4.3. Mineração
2.4. Afloramento Rochoso	4.4. Outra Área não Vegetada
2.5. Outra Formação Natural não Florestal	5. Corpos D'água
	5.1 Rio, Lago e Oceano
	5.2 Aquicultura
	6. Não observado

Fonte: MAPBIOMAS, 2020.

A Rede MapBiomas produziu mapas Land Use and Land Cover (LULC) anuais para todo o país de 1985 a 2020, Figura 6, usando a tecnologia de computação em nuvem Earth Engine para processar o arquivo de dados Landsat. Os mapas LULC foram baseados em um algoritmo de floresta aleatório.

Figura 6 - Mapeamento MapBiomas 1985 - 2018.



Fonte: MAPBIOMAS, 2020.

Ele fornece as informações LULC específicas de cada país mais abrangentes para caracterizar e compreender as transições de classe de cobertura da terra para várias aplicações, como estimativa de emissões de carbono, floresta e monitoramento da dinâmica do uso da terra e suporte à decisão. Todos os dados, mapas digitais, estatísticas e scripts de código desenvolvidos pela iniciativa MapBiomass estão disponíveis no aplicativo de painel de controle da web. Esta iniciativa está sendo replicada em outras partes da América do Sul para preencher a lacuna de informações e melhorar o entendimento do LULC em escala continental.

2.5 Cenários e Modelos Globais

2.5.1 Modelos climáticos e períodos de secas na Amazônia

De acordo com Fearnside (2008), cenários modelados para o clima futuro em áreas de floresta tropical variam muito, isso cria incertezas na mesma proporção sobre os impactos de mudanças do clima e benefícios climáticos em manter a floresta. Contudo, do ponto de vista das políticas públicas existem três razões:

- a. Os estudos ficam obsoletos e suas previsões futuras descartáveis;
- b. Tendência enganadora de aceitar o valor do meio como o mais correto, pois é a qualidade dos dados e do raciocínio de interpretação dos dados que determinarão qual dos vários resultados possíveis é o melhor;
- c. Incerteza, tendo em vista que as informações atuais sempre são o ponto de partida. Dessa forma, sempre haverá um melhor valor para cada parâmetro em cada cálculo e sua faixa associada de incerteza.

Dessa forma, as decisões devem ser fundamentadas no melhor valor atual e na sua respectiva faixa de segurança, evitando os riscos de sofrer os impactos das extremas faixas de incerteza (FEARNSIDE, 2008).

No início dos anos 2000 foram realizados testes de vários modelos no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Em 2005, chegou-se à conclusão de que o modelo Had3CM do Centro Hadley fornece o melhor ajuste ao clima atual na Amazônia. Sendo este, o mais provável (MARENGO, 2005 apud FEARNSIDE, 2008), reproduzindo melhor a ligação entre o aquecimento das águas no Pacífico e as secas na Amazônia (COX *et al.*, 2004 apud FEARNSIDE, 2008). Apesar de estudos demonstrarem uma perspectiva menos catastrófica pois o mesmo subestima significativamente a atual quantidade de chuva na Amazônia

(CÂNDIDO *et al.* apud FEARNSSIDE, 2008).

Os modelos globais possuem substancialmente mais incerteza nas predições sobre mudanças de chuva do que de temperatura. Na Amazônia, uma questão fundamental é o estabelecimento ou não de um fenômeno climático do El Niño de forma permanente. Assim, consequências desastrosas dos seus efeitos foram observadas no El Niño de 1982-1983 (MALINGREAU *et al.*, 1985 apud FEARNSSIDE, 2008) e 1997-1998 (BARBOSA; FEARNSSIDE, 1999 apud FEARNSSIDE, 2008; FULLER; MURPHY, 2006 apud FEARNSSIDE, 2008) com incêndios em grande escala na floresta amazônica.

Uma maior frequência de El Niño a partir de 1976 (NICHOLLS *et al.*, 1996 apud FEARNSSIDE, 2008) com possíveis evidências indicando sua relação com o efeito estufa (TIMMERMAN *et al.*, 1999 apud FEARNSSIDE, 2008; TRENBERTH; HOAR, 1997 apud FEARNSSIDE, 2008), não havendo um consenso do IPCC sobre essa conexão, apenas indicativos de suas possíveis consequências.

A conexão entre a temperatura da água no Pacífico e as secas amazônicas é conhecida por meio de observações diretas e não depende de resultados de modelos, inclusive muitos dos modelos globais ainda não mostram uma conexão entre o aquecimento do oceano Pacífico tropical e as secas amazônicas; sendo assim, importantes indicativos da necessidade da melhoria desses modelos. Contudo, mesmo modelos sem conexão com El Niño seriam suficientes para a substituição de grande parte da floresta por savanas ainda neste século (MALHI *et al.*, 2008 apud FEARNSSIDE, 2008; OYAMA; NOBRE, 2003 apud FEARNSSIDE, 2008; SALAZAR *et al.*, 2007 apud FEARNSSIDE, 2008).

A conexão causal entre o efeito estufa e o El Niño, teria grandes implicações para a política, pois suas consequências são claras e devastadoras atualmente, ao invés de consequências preditas em algum momento do futuro. Com impactos que incluem a mortalidade humana em secas e inundações e perdas ambientais de incêndios florestais como em Roraima em 1997-1998 (BARBOSA; FEARNSSIDE, 1999 apud FEARNSSIDE, 2008; BARBER; SCHWEITHELM, 2000 apud FEARNSSIDE, 2008).

Um possível evento crítico nas simulações do modelo do Centro Hadley seria um “El Niño permanente” que contribuiriam na redução de precipitação e a temperaturas muito mais altas na Amazônia, isso depois de 2050 (COX *et al.*, 2000, 2004 apud FEARNSSIDE, 2008).

2.5.2 Eventos Climáticos Extremos. Histórico de Secas na Amazônia

A definição de períodos extremos climáticos depende de séries históricas longas e homogêneas que podem registrar a ocorrência frequente de eventos extremos (ALVES *et al.*, 2012).

Alves, Marengo e Cavalcanti (2012) indicam que os dados são escassos e limitados na região norte, o exemplo da bacia amazônica. Onde muitas vezes evidências palecológicas são indicativos válidos, apesar das incertezas associadas, para avaliar o histórico de secas e/ou enchentes em períodos pretéritos.

Dados históricos a partir de 1902 apontam que a pluviosidade na região da bacia amazônica apresentou uma drástica seca no ano de 2010, superando 2005, anteriormente considerado o mais seco (ALVES; MARENGO; CAVALCANTI, 2012).

O processo iniciado no verão, concomitando ao El Niño, sendo intensificado pelo aquecimento das águas tropicais do atlântico norte, onde a estação seca estendeu-se por muitos, ocasionando alterações no ciclo hidrológico, com rebaixamento e seca completa em cursos d'água e tributário de rios da bacia amazônica (MARENGO, 2008).

Segundo Nobre, 2007, os impactos no equilíbrio natural da região estão associados aos impactos do desmatamento e das mudanças climáticas, que afetam o ciclo hidrológico em todas as escalas de tempo: em escalas de tempo que variam de dias a meses, eles levam a mudanças na frequência das inundações; nas escalas de tempo sazonal e interanual, as mudanças nas características da seca são a principal manifestação hidrológica; e em uma escala de anos a décadas, as telecomunicações em modelos de circulação atmosférica global causados por interações oceano-atmosfera afetam a hidrologia de certas regiões, especialmente nos trópicos, como resultado de vários eventos, incluindo El Niño (NIJSSEN *et al.*, 2001)

As mudanças climáticas representam uma ameaça ao ciclo hidrológico na Amazônia, pois temperaturas mais altas levarão a mais evaporação e aumento da transpiração das plantas, levando a uma aceleração do ciclo hidrológico (Case, 2006). Se, além disso, a precipitação diminuir durante a estação seca, o impacto das mudanças climáticas nos regimes hidrológicos da Amazônia será ainda mais exacerbado (NIJSSEN *et al.*, 2001). A severa seca que atingiu o sudoeste da Amazônia em 2005 afetou severamente o transporte marítimo, a agricultura, a produção de energia hidrelétrica e afetou direta ou indiretamente as populações costeiras de grande parte da Amazônia (MARENGO *et al.*, 2006).

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS OPERACIONAIS

A metodologia foi desenvolvida de forma integrada e progressiva, de acordo com a evolução e aplicação das diferentes etapas da pesquisa (RODRIGUEZ et al., 2018):

Quadro 3 - Etapas da pesquisa desenvolvida na tese.

Fase	Etapa	Descrição
A	INVENTÁRIO	Revisão bibliográfica e cartográfica, inventário e coleta de dados secundários
B	ANÁLISE	Elaboração de um mapa básico da bacia, interpretação de imagens de satélite, delimitação das unidades geoecológicas da paisagem e formas de uso e ocupação e, reconhecimento da verdade terrestre e levantamentos de dados primários
C	TABULAÇÃO/CARTOGRAFIA TEMÁTICA	Organização dos dados obtidos, elaboração do mapa de unidades de paisagens naturais e culturais/zonamento geoecológico, com seu respectivo texto descritivo e quadro síntese; Definição dos períodos de seca;
D	DIAGNÓSTICO	Efetivação do diagnóstico ambiental, elaboração de mapa temático com síntese do diagnóstico e seu texto e quadro descritivo
E	PROPOSIÇÃO	Elaboração das estratégias de planejamento e gestão da bacia hidrográfica, confecção do mapa de zonamento funcional, com seu respectivo plano de ação, redação final da tese e apresentação dos resultados

Fonte: adaptado de RODRIGUEZ et al., 2018

A etapa de revisão bibliográfica e cartográfica, inventário e coleta de dados secundários, incluiu a leitura da bibliografia relacionada à pesquisa, bem como a obtenção de bases cartográficas e mapas temáticos de diferentes conteúdos e escalas. Além de dados de censos e outras fontes de abrangência regional (IBGE, IBAMA), estadual e municipal. Essas informações além de subsidiarem o cumprimento do primeiro objetivo específico da pesquisa, ajudaram na construção de dados geográficos referentes à bacia hidrográfica e ao complexo estuarino.

A partir de ambiente SIG e técnicas de geoprocessamento, foram elaborados um mapa básico da bacia hidrográfica (1:200.000) e da área de estudo (1:50.000) e interpretação de imagens de satélite da série Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) lançados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), utilizando as operações 5 e 7, nos respectivos sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). As

imagens foram disponibilizadas pelo USGS (*United States Geological Survey*) e as bandas do Landsat, possibilitaram o trabalho com média resolução espacial (15 a 30 metros) compreendendo a escala de trabalho. Em seguida, foram delimitadas as unidades geoecológicas da paisagem naturais e complementar a análise por meio de trabalhos de gabinete, com a leitura de informações fornecidas pelos sensores remotos.

Para ilustrar foram também utilizadas imagens disponíveis no *Google Earth Pro* de diferentes sistemas sensores em sua grande maioria de alta resolução.

Na etapa de trabalho de campo, foi efetivado o reconhecimento da verdade terrestre para adequar o esboço cartográfico construído a partir da interpretação preliminar das imagens de satélite. Por meio de deslocamento em barcos e veículos automotores foram levantados dados primários, pertinentes a resultados de observações diretas, registros fotográficos, objetivando complementar objetivos da pesquisa, ou seja, elaboração de um banco de dados, um diagnóstico conciso e a proposição de um plano de gestão e monitoramento ambiental da bacia em questão.

A organização dos dados obtidos nas etapas anteriores possibilitou a elaboração do primeiro produto do geoprocessamento, o mapa de unidades de paisagem da bacia, que como os demais mapas temáticos foi representado na escala de 1:50.000, estando acompanhado com seu devido texto explicativo. Os dados obtidos foram representados por meio de quadros, tabelas e outras expressões gráficas, interpretados na conformidade dos métodos e normas pré-estabelecidas para cada tipo de representação. Buscou-se, assim, analisar suas inter-relações, no sentido de construir uma síntese do conjunto da bacia com suas unidades geoecológicas.

A construção do diagnóstico ambiental foi sustentada a partir de todas as informações anteriores, bem como resultado da produção de conhecimento da realidade territorial e percepção ambiental construída ao longo dos trabalhos de coleta de dados indiretos e da pesquisa de campo. Os subsídios dessas informações foram representados em uma nova carta temática que representará os principais problemas, limitações e potencialidades geoecológicas, acompanhada também por um texto explicativo. Com essa etapa, foi possível a contemplação de um dos objetivos específicos, estabelecidos no projeto.

A partir do diagnóstico construído, se organizaram as estratégias de planejamento e gestão da bacia hidrográfica, buscando a resolução/mitigação dos problemas socioambientais, adaptação as limitações naturais, técnicas e administrativas, bem como a otimização das potencialidades naturais e humanas.

Com a confecção do mapa de zoneamento funcional, se estabeleceram as unidades

de gestão ambiental, (preservação, conservação, recuperação e usos diferenciados), estando o produto cartográfico acompanhado com seu respectivo plano de ação, onde se estabelecerão competências, atribuições e direitos das partes envolvidas: comunidade, poder público-administrativo e assessorias técnico-científicas. Na complementação da pesquisa, foi elaborada a redação final da tese, bem como a apresentação dos resultados obtidos.

Dessa forma, foi cumprido o último objetivo específico, como também o objetivo geral, alcançando-se assim o conjunto de metas estabelecidas no projeto de tese.

3.1 Avaliação dos extremos climáticos

Os estudos sobre eventos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais significativos, por conta das consequências que estes causam tanto para as esferas socioeconômicas quanto para os ecossistemas (EASTERLING *et al.*, 2000). Esses eventos podem ser definidos tanto como eventos de tempo quanto de clima e a ocorrência de ambos pode ser de curto prazo ou durar milhões de anos, suas frequências e a intensidades vêm aumentando com o decorrer do tempo (SILVA *et al.*, 2019).

Estudos sobre eventos extremos de clima na América do Sul (AS) indicaram um acréscimo de dias e noites quentes e uma redução de dias e noites frias. (SILVA *et al.*, 2019). As prováveis causas de tais eventos podem estar associadas às mudanças climáticas ocasionadas pela modificação antropogênica da cobertura natural (RE; BARROS, 2009), ao aumento da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical (SANTOS, 2016) e à variabilidade do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (COX *et al.*, 2004).

Segundo Li, Fu e Dickinson (2006), alguns modelos de circulação planetária sugerem que o aquecimento do planeta poderá vulnerabilizar a região Amazônica à seca extrema, ocasionando um decréscimo das florestas tropicais e causando uma intensificação no aquecimento global (COX *et al.*, 2004). Os eventos de secas e enchentes na referida região estão relacionados com as variações da TSM. Ou seja, essa variação na TSM do Atlântico e do Pacífico tropical é um possível motor para futuras mudanças na Amazônia, impactando não somente em escalas regionais como também em escalas planetárias (COX *et al.*, 2004).

Na última década, a Amazônia presenciou algumas secas que causaram mudanças em relação ao aspecto hidrológico da região, especificamente nos anos de 1997/1998 e 2005. O ciclo hidrológico é muito importante na Região Amazônica, pois esta região contribui diretamente para o funcionamento do clima regional e global (MARENGO *et al.*, 2008) tais

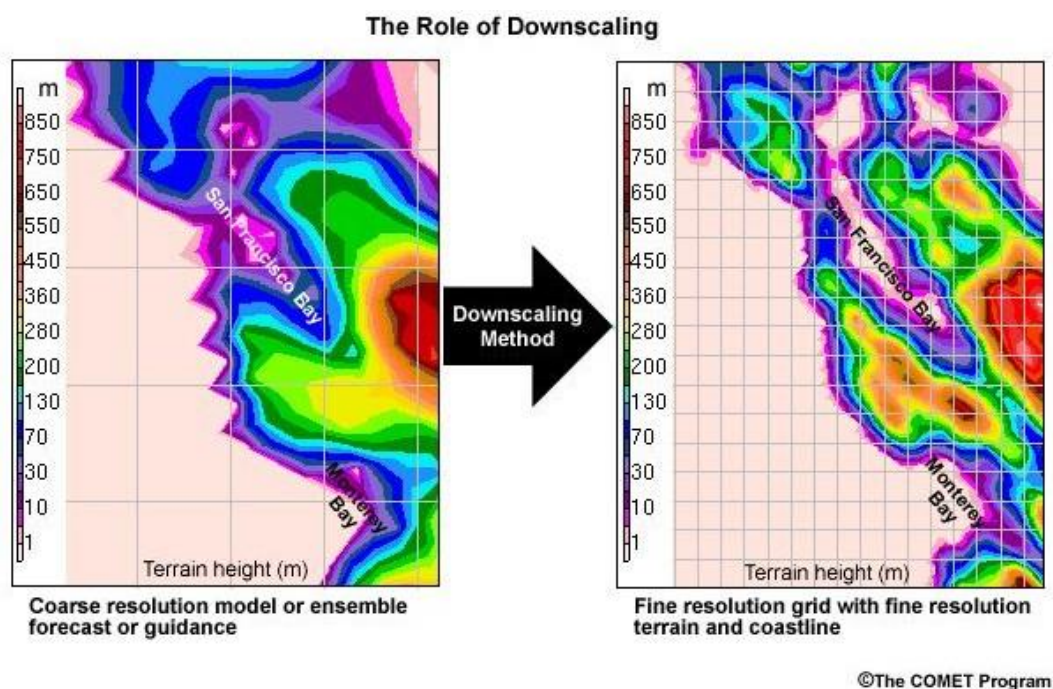
modificações aumentaram severamente a incidência de incêndios na área, e tornam a Amazônia mais suscetível a incêndios futuros (ARAGÃO *et al.*, 2008).

3.2 Dados Obtidos na pesquisa

3.2.1 ERA-interim – Reanálise

Para o desenvolvimento das análises utilizou-se dados mensais de temperatura a 2 metros de altura e vento em 1000 hPa (superfície) da reanálise ERA-Interim disponibilizado pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) com resolução espacial horizontal de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ de latitude e longitude no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2018. Informações de reanálise são obtidas partindo dos dados de estações meteorológicas e associadas a campos obtidos por meio das equações que regem os movimentos atmosféricos. No entanto, a resolução espacial de saída deste tipo de dado é baixa então, para melhorar a resolução, utilizam-se interpolações (*downscaling*), exemplificadas na Figura 06, que procuram representar os padrões reais das variáveis.

Figura 7 - Exemplo de *downscaling*.



Fonte: The Comet Program (2010)

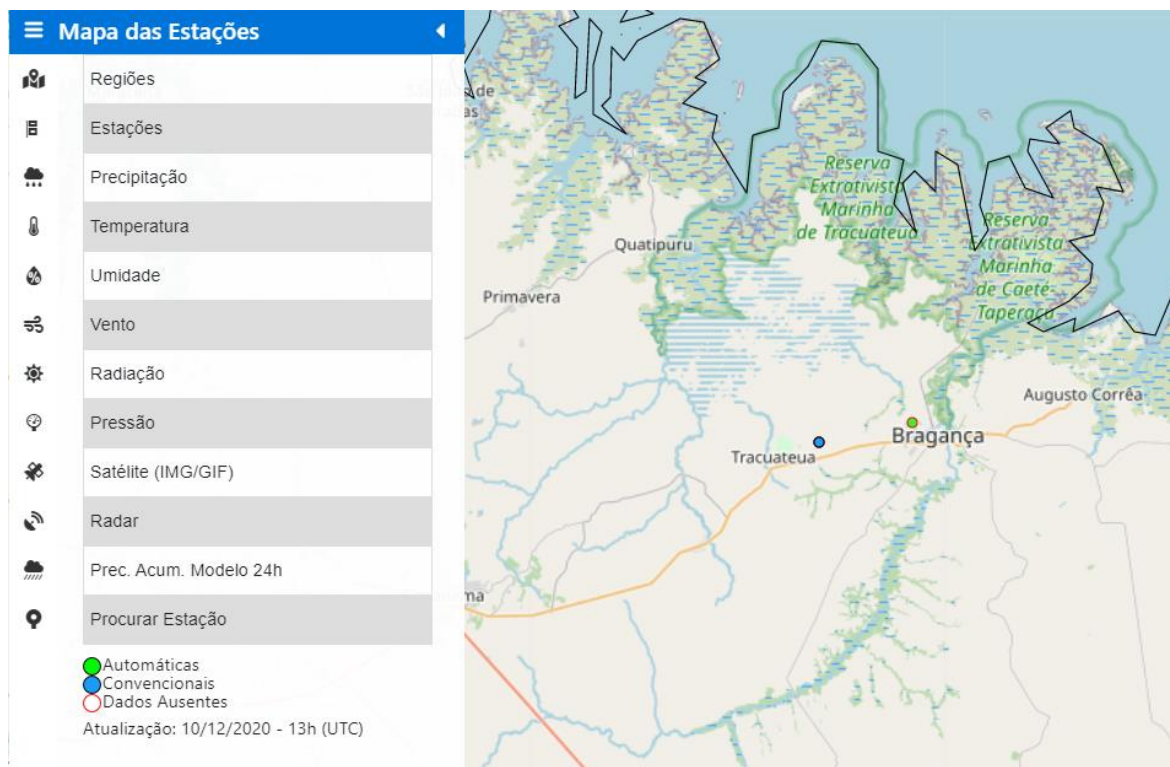
3.2.2 Dado de Precipitação - Análise - CPC/NCEP

Em relação ao dado de precipitação utilizou-se a base disponibilizada pelo *Climate Prediction Center (CPC) / National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* que possui resolução espacial horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude em escala temporal diária no período de janeiro de 1979 a dezembro 2019. Este dado é uma análise obtida por meio de observações em estações meteorológicas ao redor do mundo e integrado a outras fontes de dados como satélites e modelos meteorológicos. Sendo este disponibilizado apenas para porções continentais do globo e, portanto, pode ocorrer falta de dados próximos a costa dos continentes. Assim, o CPC/NCEP é amplamente utilizado em estudos de clima.

3.2.3 Dados das Estações do INMet

Na região da Bacia do Rio Caeté encontram-se duas estações meteorológicas do INMet, a estação convencional de Tracuateua, localizada em $1.04S-46.78W$ e a estação automática de Bragança, localizada em $1.06S-46.86W$, Figura 8.

Figura 8 - Estações meteorológicas do INMet na bacia do rio caeté



Fonte: <https://mapas.inmet.gov.br/> (2020). Organizado por Rabelo (2021)

Por fim, utilizou-se dados de precipitação e temperatura da estação convencional de Tracuateua, no período de janeiro de 1973 a dezembro de 2019 e os dados de precipitação e temperatura da estação automática de Bragança, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2019. Com isso, os dados das duas estações foram disponibilizados pelo INMet em escala diária.

3.3 Avaliação da dinâmica costeira no setor estuarino

Existem diferentes elementos que podem ser utilizados para o estudo da dinâmica costeira, dentre estes a linha de costa é um dos mais utilizados como alusivo das variações ambientais (CALLIARI *et al.*, 2003). Mueher (1998) define linha de costa como um elemento que representa espacialmente as várias condicionadas pelas marés, sendo que constitui um importante indicativo no sistema de praia das variações, por conta da posição da linha de costa ao longo do tempo; mas, ao mesmo tempo, sua delimitação constitui-se um desafio para os pesquisadores (CALLIARI *et al.*, 2003; MUEHER, 1998).

Segundo Boak e Turner (2005), diferentes elementos são utilizados enquanto parâmetros para esses indicadores de variações, estando agrupado em três tipos: delimitado por alguma feição visível, delimitado pelas variações do nível de água ou delimitadas por meio de processamento digital de imagem, enfatizando elementos que não são visíveis ao olho humano.

Para identificação dessas feições lineares, as plataformas orbitais e os dados de sensoriamento remoto são importante registros históricos da dinâmica dos ambientes costeiras; apesar das diferentes limitações muitas vezes apresentadas, como a ausência de dados de alta resolução espacial e temporal, sendo possível sua utilização principalmente para a análise de tempo mais amplo.

Quanto à utilização de produtos de sensoriamento remoto para determinação da linha de costa, pôde-se basear através do limite existente entre a praia alta (“praia-verdadeira”) e a vegetação dunar ou de mangue, sendo este um dos principais indicadores proposto por Boak e Turner (2005), haja vista que é o limite de mais fácil identificação nas imagens e responde bem à evolução de médio termo ou curto período (DUARTE *et al.*, 2018), os melhores resultados são encontrados com produtos de altíssima resolução espacial (SEKOVSKI *et al.*, 2014).

Dessa forma, a avaliação das variações na linha de costa pode ser utilizada como ferramenta de prognóstico (SOUSA *et al.*, 2018), permitindo ações de planejamento e

ordenamento costeiro, especialmente em áreas com ocupação intensa.

Comumente, são utilizadas na identificação da dinâmica em ambiente de morfologia praial; contudo, existem trabalhos que utilizam em ambiente fluvial e estuarino (MILIGAN *et al.*, 2010). Hunt (2018) e Biron *et al.* (2014) utilizam as variações históricas de linha de costa para mapear as variações no interior dos rios e nas planícies fluviais.

3.4 Recorte espacial da área de estudo baseado nos períodos de secas

Por meio da definição dos períodos de seca, com base nos dados históricos da normal climatológica dos últimos 30 anos, podem ser definidos através do método dos quantis os períodos de seca dentro do contexto de precipitação.

Foram utilizados como critério para seleção das imagens os anos de seca, definidos por Marengo (2005 apud FEARNSSIDE, 2008). Espera-se no futuro correlacionar as variáveis à repercussão dos anos extremos de precipitação com os períodos extremamente secos. Baseados nesse critério, foram selecionadas as imagens de satélite para realizar a classificação.

Para fins de melhor aplicabilidade da ferramenta de avaliação, foi selecionado o setor estuarino esquerdo da Bacia Hidrográfica do rio Caeté, pois apresenta uma maior variedade de praias e formações arenosas, linearidade, além de ter sua ocupação histórica mais acentuada e atividade econômicas mais desenvolvidas.

A metodologia baseou-se no uso de técnicas de processamento digital de imagens com dados de sensoriamento remoto, gerando uma análise multitemporal que abrange o período de cinco décadas (1973 a 2018) por meio da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS).

Inicialmente, foram selecionadas imagens de plataformas orbitais passivas com a menor cobertura de nuvens possíveis, obtidas por meio de pesquisas nos repositórios do *Earth Explorer Geological Survey* (USGS) e Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no Brasil (INPE).

Realizado o processo de montagem do banco de dados geográficos, georreferenciamento das imagens que apresentavam algum descolamento evidente, utilizando-se como parâmetro o Erro Quadrático Médio (EQM) menor que 5,0. Assim, a composição de cores de imagens em falsa cor ou no infravermelho para melhor interpretação das linhas de costa, definindo-se o parâmetro da linha de transição entre praia seca-molhada (BOAK; TURNER, 2005).

Nessa perspectiva, foram definidos os períodos de 1973, 1984, 1990, 2008 e 2018, (Quadro 4), por meio da seleção baseado na ausência ou menor incidência de nuvens disponíveis nos períodos de menor precipitação pluviométrica.

Quadro 4 – Detalhamento dos sensores utilizados e hora de aquisição.

Plataforma	Operação	Sensor	Resolução	Orbita	Ponto	Data	Horário
Landsat	1	MSS	80	222	61	12-03-73	12:37:05
Landsat	5	TM	30	222	61	27-03-84	12:37:52
Landsat	5	TM	30	222	61	06-08-90	12:47:20
Landsat	5	TM	30	222	61	20-06-08	12:47:57
Landsat	8	OLI	30	222	61	02-07-18	12:47:18

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O fluxograma metodológico representado na Figura 9, ilustra melhor o processo de elaboração do trabalho da etapa da pesquisa em questão.

Figura 9 - Etapas de seleção e aplicação da metodologia. (A4)

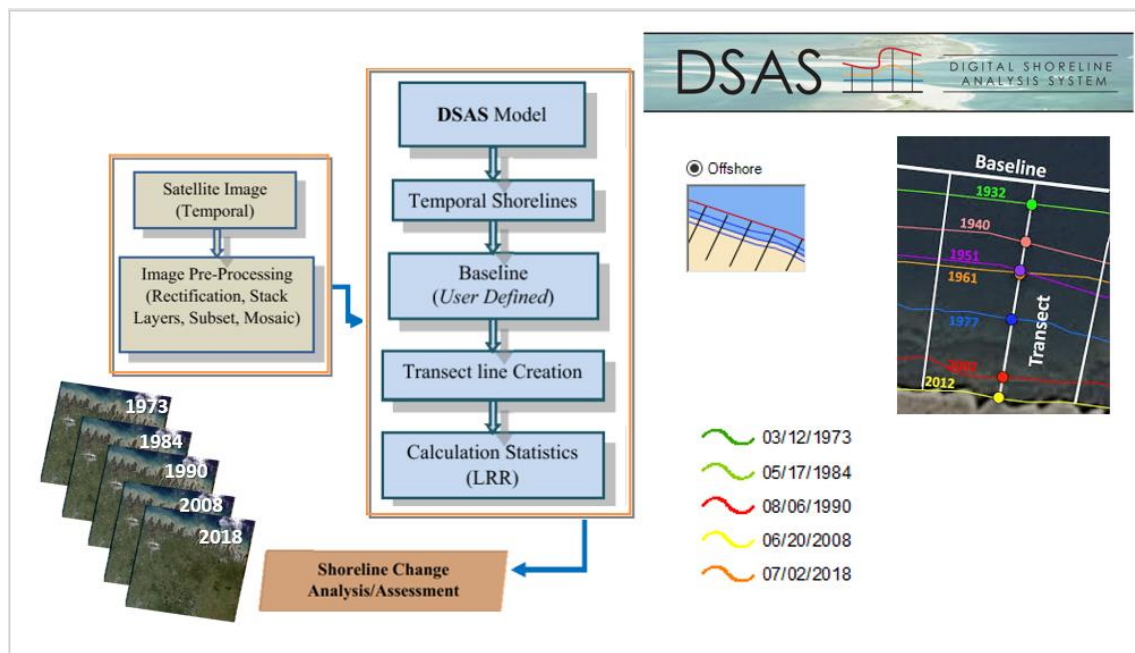


Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é uma extensão desenvolvido pelo *Earth Explorer Geological Survey* (USGS), para o programa ArcGIS da empresa ESRI, onde

são definidos transectos lineares paralelos a uma única linha de base, avaliadas as mudanças no litoral por meio linhas de costa extraídas da interpretação e análises de imagens, com a existência de diferentes métodos estatísticos para essa análise (HIMMELSTOSS, 2009). Para a pesquisa em questão foram utilizados o Ponto extremo (End Point Rate - EPR) e a Regressão linear (Linear Regression - LRR), conforme Figura 10.

Figura 10 – Indicação das etapas do DSAS



Fonte: Adaptado de DSAS (2015). Organizado por Rabelo

As representações dos trechos de praia foram elaboradas a partir da interpretação visual da faixa de praia no máximo de espraiamento da onda sobre a face praial registrada na imagem, sendo este o elemento que separa a areia úmida da areia seca na linha de costa, conforme metodologia proposta por Boak e Tuner (2005). É importante destacar que por ser um elemento de interpretação, sua delimitação torna-se de certo modo subjetiva e algumas vezes sua delimitação não é possível ocorrer de forma clara. Normalmente é relacionado a algum problema na aquisição da imagem ou presença de elementos como nuvens, sombra de nuvens.

Posteriormente, foi definida a linha de base fora da costa (*off shore*), tendo em vista a configuração da ria; dessa forma abrangendo toda a ocorrência dos transectos que correspondem as faixas de ocupação da praia. Diferentes áreas com sedimentação e erosão foram calculadas, identificadas e mapeadas, apontando para variações relacionadas a perdas

sedimentares na zona intermarina e ganhos sedimentares (progradação) causados pelo transporte do material através das marés de sizígia.

Foram gerados 32 transectos ortogonais à linha de costa espaçados entre 500 metros, onde foi possível verificar o comportamento da linha de costa nos anos supracitados. Por meio do modelo de regressão linear simples é possível avaliar as mudanças na linha de costa, indicando as variações.

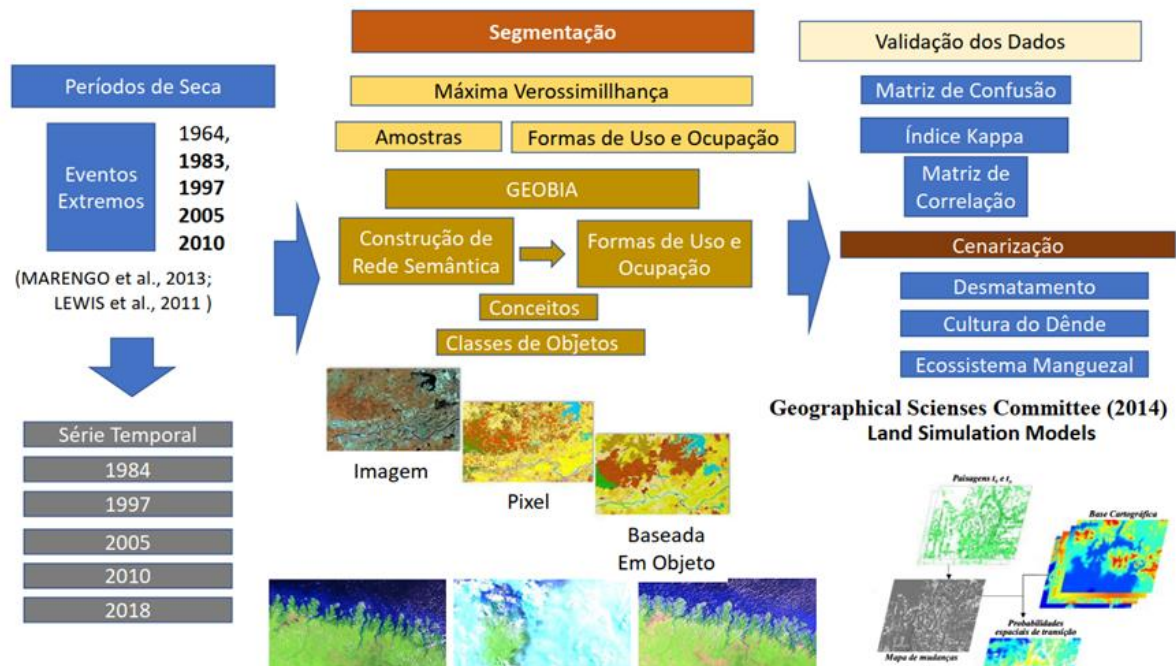
Associados a parte de processamento de imagens foram realizados trabalhos de campo em dezembro de 2018 e março de 2019 no estuário do rio Caeté, realizando a verificação da verdade terrestre e evidenciando as modificações atuais na linha de costa.

Por fim, para uma melhor contextualização dos processos da dinâmica costeira foram selecionadas algumas imagens de alta resolução espacial da plataforma Google Earth, em diferentes períodos, nas áreas que apresentaram maiores variações ao longo da série histórica, para fins de interpretação e corroborar melhor as evidências encontradas no processamento dos dados estatísticos com os processos acarretados nos ambientes estuários.

3.5 Processamento Digital de Imagens de dados de SR

A metodologia foi baseada na implementação de técnicas de processamento digital de imagens (PDI), gerando uma análise multitemporal das repercussões da dinâmica da paisagem. Foram adquiridas imagens de plataformas orbitais de sensores passivos com a menor cobertura de nuvens existente por meio de pesquisas nos repositórios *Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS)*, *Sentinel Data Access Overview da European Space Agency (ESA)* e Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Sensores ativos também foram utilizados, oriundos das agências espaciais citadas e dados provenientes de parceria com o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM). Conforme pode ser observado da Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma das etapas de classificação e validação.

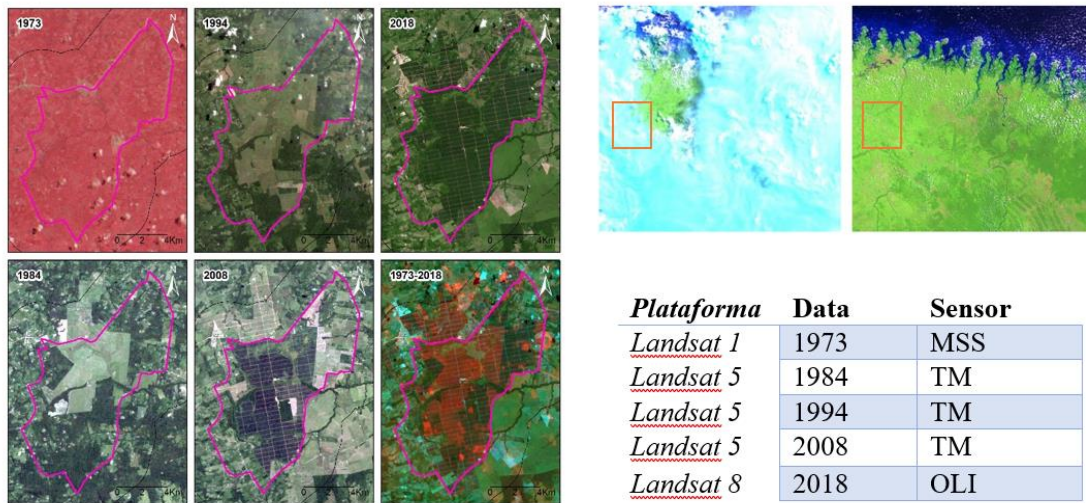


Fonte: Organizado pelo autor (2021)

Após a seleção, a montagem do banco de dados geográficos e composição colorida das imagens de diferentes sensores, poderão ser calculadas e identificadas diferentes áreas com desmatamento, assoreamento, no alto e médio curso da bacia e sedimentação, erosão no setor estuarino, indicando evidências de períodos de secas e estiagens.

Foram adquiridas imagens de plataformas orbitais passivas com a menor cobertura de nuvens plausível (Figura 08) por meio de pesquisas nos repositórios *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS) e Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), após a seleção foi realizada a montagem do banco de dados geográficos e composição colorida de imagens de diferentes sensores: *Multispectral Scanner System* (MSS), *Thematic Mapper* (TM) e *Operational Land Imager* (OLI) do programa *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), nas respectivas operações 1, 4 e 8. Dessa forma, a análise multitemporal compreendeu o recorte temporal de cinco décadas (1970/1980/1990/2000/2010) como destacado na Figura 12.

Figura 12 – Trecho do alto curso da bacia indicando o critério de seleção com menos presença de nebulosidade.



Fonte: Organizado pelo autor (2020)

Permitindo uma análise das modificações na dinâmica da paisagem. No sentido de avaliar espacialmente de forma quantitativa a dinâmica das paisagens na bacia hidrográfica do rio Caeté e sua possível repercussão a nível municipal e local em Bonito, Tracuateua, Ourém, Capanema, Santa Luzia do Pará, Bragança e Augusto Corrêa, ambos municípios do estado do Pará.

4 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

Dados dos sensores passivos *Multispectral Scanner System* (MSS), *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), *Operational Land Imager* (OLI) do programa *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), foram utilizados nas respectivas operações 1, 4, 7 e 8. E dos sensores ativos da década de 1970: *Goodyear Environmental Monitoring System* (Gems), que foram utilizadas no projeto RADAMBRASIL; década de 1990 do RADARSAT-1 e 2 da *Canadian Space Agency* (CSA) e contemporâneas do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), sensor PALSAR-1 e 2 e do satélite Sentinel-1, da *European Space Agency* (ESA).

Os sensores citados compreendem diferentes bandas, que são intervalos diferentes de registro do espectro eletromagnético nas frequências visível do azul até o infravermelho próximo (ondas curtas), compreendendo além da capacidade do olho humano (CRÓSTA, 1992; FLORENZANO, 2002; LORENZZETTI, 2015). De forma padrão, são inseridas em uma banda (que registra um intervalo do espectro eletromagnético) do *Landsat* uma cor primária, por meio da combinação de diferentes bandas são geradas imagens coloridas multibandas (JENSEN, 2009; NOVO, 2010).

Para o desenvolvimento da classificação foi utilizado um classificador tradicional denominado de IsoCluster/ISODATA que consiste em um método de classificação não supervisionada de entrada multibanda que utiliza o procedimento de *clustering* de otimização iterativo modificado ou técnica dos meios de migração, onde os *pixels* são agrupados por meio de grupos unimodais distintos, ou seja, isolados, no espaço multidimensional das bandas de entradas. Através da distância euclidiana mínima atribuída a cada célula candidata a um cluster para a média do cluster mais próximo (BALL; HALL, 1965; CONGALTON, 1991; JENSEN, 2000; RICHARDS, 2013). Com as respectivas qualificações das variações das unidades. De forma agregada, utilizou-se a análise de componentes principais para identificar as variações temporais.

Para auxiliar na validação dos dados de classificação mais atuais, foram realizados quatro trabalhos de campo ao longo da pesquisa (2018, 2019) identificando por meio de registros fotográficos, marcação de pontos com receptor GNSS e verificação *in loco* das diferentes formas de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Caeté.

4.1 Procedimentos técnicos

Por meio de técnicas de processamento digital de imagens (PDI), estas foram processadas compreendendo o recorte cronológico de cinco décadas (1970/1980/1990/2000/2010), por meio da implementação das ferramentas descritas a seguir:

Utilizando uma técnica de classificação tradicional (IsoCluster/ISODATA)

O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), consiste na definição de transectos lineares a partir de uma linha de base serviu para a avaliação das alterações na linha de costa e na drenagem fluvial por meio da análise de imagens de diferentes períodos cronológicos.

Para fins de avaliação e validação dos resultados gerados foram utilizados dados climáticos para fins comparativos, em escala regional pode-se optar por um ano de máximo de precipitação/umidade e um ano de mínimas de precipitação/umidade. Pôde-se trabalhar com balanços hídricos e análises de estações meteorológicas presentes na bacia, dados na Agência Nacional das Águas (ANA) e outros órgãos de planejamento e gestão pública.

Buscou-se relacionar também as variáveis de temperatura e evapotranspiração, tentando representar cartograficamente essas duas situações correlacionando-as com os fenômenos el Niño e la Niña e sua influência na dinâmica da paisagem, além de repercussões na produção agropecuária, crise hídrica, variações pluviométricas e níveis de barragens, sequência de estiagens em diferentes períodos cronológicos.

4.2 Mapeamento das unidades geocológicas e formas de uso

Do ponto de vista teórico e metodológico, a pesquisa recorreu à Geoecologia das Paisagens, dada as características da região foram selecionadas variáveis que melhor representassem a síntese dos elementos físico geográficos, permitindo uma individualização mais adequada dessas unidades. Sendo importante destacar algumas questões teóricas sobre a abordagem geossistêmica:

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) ao ser incorporada na ciência apresentou diferentes desdobramentos como a teoria e abordagem sistêmica, ecossistemas geossistêmica, além de diversas outras formulações teórico-metodológicos. O conceito de Ecossistema na ecologia e biologia predominante com uma abordagem biocêntrica, os elementos não vivos não estão sujeitos à análise (CESTARO, 2018).

No Geossistema, não existe nenhuma abordagem preferencial e nem hierárquica a

priori. Todos os elementos têm o mesmo ‘peso’, onde a unidade apresenta grande similaridade física e bióticas. Desta forma, a tendência de compartimentação dos espaços naturais por características comuns denominados de Geossistema (RODRIGUEZ et al., 2018; CESTARO, 2018)

Historicamente no desenvolvimento dos geossistemas a vegetação apresenta um elemento relevante por sua característica de síntese dos demais condicionantes naturais. O conceito de vegetação pode ser compreendido como o conjunto de plantas ou organismos/espécies em equilíbrio dinâmico em determinado espaço (ALLABY, 1998 apud CESTARO, 2018). Estando em essa em constante desenvolvimento e evolução, denominado de sucessão ecológica, até chegar ao seu estágio de clímax, refletindo diretamente a influência do clima, solo e dos humanos (ROMARIZ, 2012).

A vegetação pode ser analisada em diferentes escalas, seja na quantificação dos indivíduos ou de biomassa (emaranhado de plantas) e em diferentes abordagens ou simplesmente como elemento secundário da paisagem, quando compreendida enquanto parte integrante da paisagem (TROPPEMAIR, 2008). Nas abordagens integradas (unidades geoambientais, unidades de paisagem ou geocológicas) (RODRIGUEZ et al., 2018; CESTARO, 2018).

Chistofolletti (1999) define geossistema como equivalente a um sistema ambiental físico. Para Monteiro (2000), paisagem e unidade geocológica são termos equivalentes e por fim os mais difundidos no Brasil: Geossistemas são sistemas naturais (SOTCHAVA, 1978) e sistemas naturais com influência antrópica (BERTRAND, 2007).

É importante destacar que no Brasil o estudo das unidades geoambientais estão previstas nos Instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), estão elencados no artigo 9º da Lei n.º 6.938/1981, onde no zoneamento ambiental (artigo 9º, II), ou seja, estão respaldadas juridicamente para implementação em políticas ambientais. Definido também no Decreto n.º 4297/2002 que apresenta o zoneamento ecológica econômico (ZEE) e tem como vista organizar planos, programas, planejar atividades, para utilizar de forma racional os recursos naturais, definindo as limitações do espaço-natureza, além de utilizar o potencial e exploração dos mesmos.

A relação entre tema legal e a teoria sistêmica é explícita no Decreto nº 5.300, de 07 de dezembro de 2004, regulamentado pela Lei nº 7661/1988 inciso XV, art. 2, é apresentado o conceito de Unidade Geoambiental: porção do território com elevado grau de similaridade entre características físicas e bióticas, podendo abranger diversos tipos de ecossistemas com

interações funcionais e forte interdependia. Outras políticas nacionais apresentam ferramentas de estudos Geoambientais, que estão atrelados também à análise da vegetação com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, Fluxograma do ZEE, diagnóstico, potencialidades e limitações.

A vegetação é um importante elemento na caracterização das unidades geoambientais, onde o estudo da vegetação é uma subdisciplina da Ecologia e da Biogeografia (KENT, 2012). Podendo ser compreendida nas abordagens: tipos de cobertura de vegetação: vegetação Natural (próxima a original); vegetação semi-natural (recuperação/exploração), áreas cultivadas (agricultura, pecuária) e; áreas manejadas (jardins, gramados, campos e esporte). Importante ao longo das pesquisas utilizar algum sistema de classificação, como exemplo o trabalho de Di Gregório (2005), *Land Cover Classification System (LCCS)*, no material *Classification Concepts and User Manual* da FAO.

Para fins de mapeamento da vegetação a clímax é reflexo das condições ambientais dominantes, estando também diretamente relacionada à precipitação e temperatura. Em escalas maiores, a correspondência entre vegetação e condições ambientais é mais fina e evidente. Já em escalas pequenas (<1.100.000), a classificação da vegetação precede o mapeamento e consiste nos diferentes tipos de vegetação, depende da classificação existente e informações prévias em consulta com a literatura, no Brasil a mais aceita é a do RADAM Brasil.

Para o mapeamento de vegetação é essencial a espacialidade dos dados, apoiado em geoprocessamento e na análise de imagens de satélite. Na atualidade, existe uma variedade de imagens com diferentes resoluções, além de uma infinidade de tratamentos e classificações de imagens (supervisionada / não supervisionada) e índices de vegetação (NDVI, SAVI e EVI): NDVI (Índice de Vegetação Por diferença normalizada), SAVI (Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo) e EVI (Índice de Vegetação Melhorada) que são apoiados na biomassa. Destes, o NDVI é considerado o melhor para analisar a vegetação em escalas grandes (<1:25.000).

Não vista mais como emaranhado, mas como comunidade com diferentes características. As comunidades de plantas ainda podem ser classificadas por diferentes grupos de atributos que descrevem as principais características ambientais (latitude, longitude e clima), fisionômicas e estruturais (porte e estrato) e florísticas (fitodiversidade, composição e taxonomia) (CESTARO, 2018).

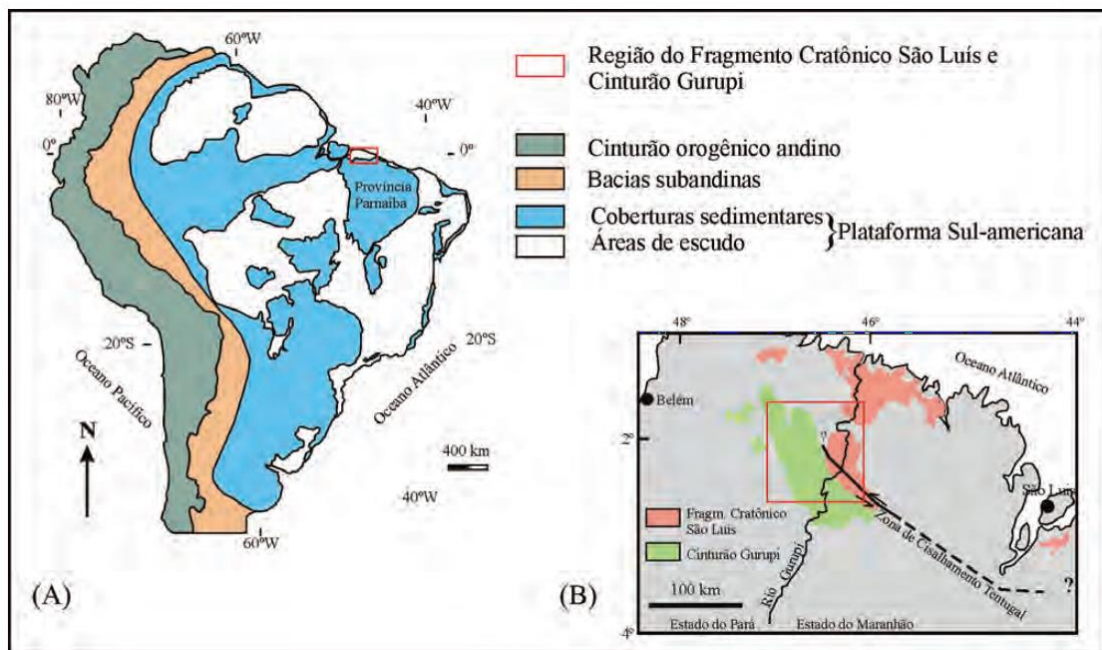
5 BASES FÍSICO NATURAIS NO CONTEXTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAETÉ

No capítulo a seguir serão destacadas o quadro dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio caeté.

5.1 Geologia

Geologicamente a área está inserida na Província Estrutural do Parnaíba, no Domínio Tectônico da Plataforma do Pará e Bragançana, que é um setor do Fragmento Cratônico São Luis. (CPRM, 2008). Ver Figura 13.

Figura 13 - Localização da área em relação às grandes províncias tectônicas da Plataforma Sul-Americana.



Fonte: Soares Júnior (2007), CPRM (2000)

As Formações Superficiais incluem todas as coberturas cenozóicas, abrangendo os sedimentos do Paleogeno, Paleogeno-Neogeno (Grupo Barreiras), as coberturas lateríticas neogeno-quaternárias e as coberturas quaternárias (CPRM, 2000). Na área da bacia há um predomínio de litologias do grupo Barreiras. No alto curso, a Formação Rio Pintoró em Santa Luzia do Pará. Entre municípios de Bragança e Tracuateua encontra-se a Formação Tracuateua e os Depósitos Litorâneos no baixo curso (CPRM, 2008).

O Grupo Barreiras, de origem terciário continental e lacustre são constituída por sedimentos continentais e lacustres, que ocupam grandes parcelas da Amazônia com argilas claras na base, áreas de cores vivas e argilitos de coloração variadas. No Setor Brangantino com apresentaça do ‘grês do Pará’ de tonalidade escura encontram-se as camadas espessas que dieferem da clássica série barreiras do baixo Amazonas (ACKERMANN, 1964).

5.2 Paleogeografia e tectônica regional

Sobre as oscilações do nível do mar na região Cohen et al., 2005, cita trabalhhlhos envolvendo técnicas palinológicas, datação de carbono e distribuição modernados manguezais, que são mais evidentes dos setores equivalente ao médio e baixo curso da bacia. Que permitem uma reconstrução paleoambiental desses ambientes e indicam sua dinâmica em uma escala de tempo geológico.

O setor do baixo curso é constituído de três fácies: a) Capanema inferior, com ritmos e impressões de folhas fossilizadas, com baixo teor de magnésio, com utilização na fabricação de cimento. b) Capanema superior, calcário de coquinhas, com áreas e argilas. e c) facie Pirabas, altamente magnesiano (ACKERMANN, 1964).

Conforme divisão de Camargo (1942) apud ACKERMANN (1964), o Quaternário local pode ser dividido em Recente e Antigo. Contudo, é considerada como arbitraria, pois ambos se confundem, e passam para o terciário do Grupo Barreiras, pois são sedimentos que formaram com material de origem dessa série.

Do Quaternário recente são as áreas mais rebaixadas, atuais dos rios e partes alagáveis pelas marés altas e nas épocas chuvosas, predominado areia e argila, além de matéria orgânica. ACKERMANN (1964).

São encontradas rochas do Quaternário recente e antigo, incluindo areias, argilas e rocha grez do Pará, além da pedra jacaré ou preta, aglomerado grosseiro de areia cimentada por oxido de ferro, sem estratificação, com coloração vermelha e risco da mesma cor. É tida como rocha característica do quaternário. Nos setores argilosos são formados na superfície, nódulos limoníticos (KATZER, 1960; ACKERMANN, 1964).

Já o Quaternário antigo seria os setores fora da faixa de inundação atual. com areias mal classificadas, misturas cm argila e rocha Grez do Pará. No norte de Capanema, Pará, existe a base da formação Pirabas formada por arenito duro, com idade incerta. (ACKERMANN, 1964).

Os materiais do Proterozóico são restos de rochas metamórficas, Serie Minas, Serie Gurupi local, intercaladas por dobras do completo fundamental. Já os Arqueozoicos são granitos e gnaisses com injeção de pegmatitos, aflorando em alguns setores que formam o substrato da região (CPRM, 2008).

Assim, as rochas do Proterozóico, ao cruzar o rio Caeté, na estrada Capanema-Rio Gurupi (Pará-Maranhão) são encontradas em uma zona com predomínio de rochas metamórficas, próximo a Capanema também, com presença de intrusão de diabásio cortando as rochas da série Gurupi. Os depósitos de seixos rolados ao longo rio Caeté formam camadas constituídas exclusivamente por quartzos.

O Arqueozóico são rochas do complexo fundamental que em Tracuateua e Tauari são exploradas comercialmente para construção civil (ACKERMANN, 1964; LEONARDOS, 1958).

Na Região Bragantina central existe um paralelismo entre os eixos dos rios que desaguam no Atlântico, como o Caeté. Enquanto, os rios que os flanqueiam para leste ou oeste formando leques, partindo todos do centro, como observado por Sternberg (1950 apud ACKERMANN, 1964) sobre a existência de pequenos vales tectônicos na Amazônia.

Em algumas partes da costa marítima paraense é possível observar alguns afundamentos da crosta terrestre com conseqüente avanço do mar sobre o continente (ACKERMANN, 1964).

Ackermann (1964) destaca que os reflexos do afundamento do graben marajoara e reajustamento das partes marginais repercutiram com uma série de deslocamentos e falhamentos, configurando o aspecto atual da região. Descreve também que o empuxo no embasamento fundamental no anticlinal em direção E-W ao norte do rio Guamá como o geossinclinal N-S no qual corre o rio Guamá, bem como o dobramento com direção N-S que atravessa a estrada São Paulo e Quatro Bocas, se estendem possivelmente até Salinópolis. (PIMENTAL apud ACKERMANN, 1964).

Ao final do Oligoceno para o Mioceno, houve a migração da fauna do Pacífico para o Atlântico através do istmo do Panamá que possivelmente ocorreu em um movimento que permitiu a formação da Transgressão Marinha depositando extensas camadas de calcárioossilífero na Formação Pirabas, do Mar de Pirabas (BEURLEN, 1958; SANTOS, 1958 apud ACKERMANN, 1964).

Segundo indicações de Ackermann (1964), o mar de Pirabas alcançou largura de 45 quilômetros em direção E-W e 70 quilômetros em direção S-N, formando um polígono

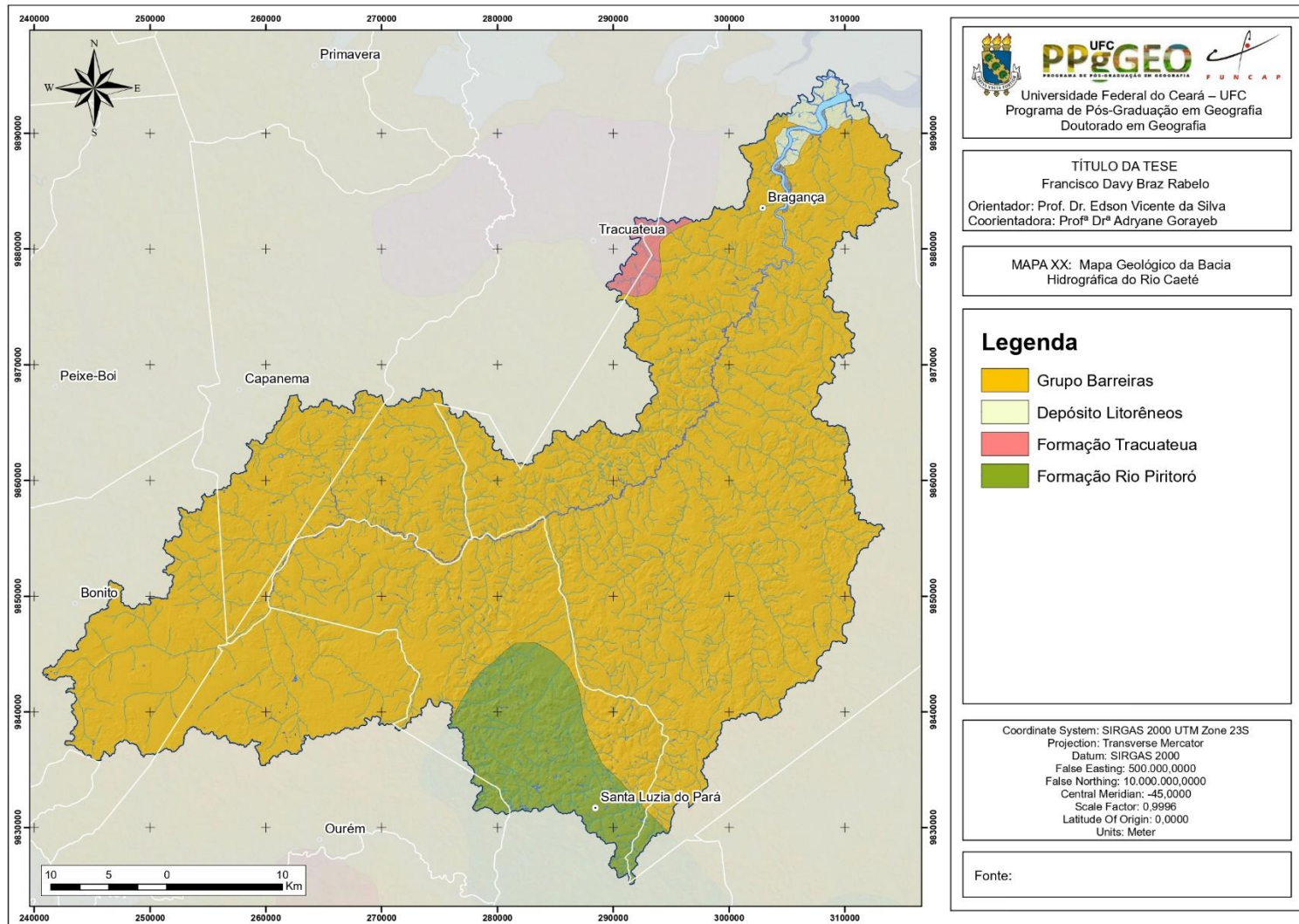
irregular com eixo principal S-N, com indícios de que se estendeu além do sul do rio Guamá.

A formação dos calcários não ocorreu por sedimentação contínua, havendo fases de sedimentação com abundância de areia, intercaladas por fases de sedimentação de argilas azuladas, com indícios pelos fosseis presentes de pecten, indicando águas pouco movimentadas. Mas, devendo haver fases de águas agitadas, pela presença de moluscos de cascos mais resistentes (ACKERMANN, 1964).

Indícios de não haver um desenvolvimento ecológico sempre favorável, quanto mais próximo do sul da Transgressão Marinha menor fica a fauna fóssil. No afundamento da bacia amazônica houve o reativamento dos movimentos tectônicos nas zonas adjacentes que afetaram toda a costa norte e nordeste (KEGEL, 1957 apud ACKERMANN, 1964; LEINZ, 1949), ultrapassando o ciclo da formação Pirabas como indicam os movimentos registrados na formação de barreiras nas falésias vivas da orla de Salinópolis (ACKERMANN, 1964).

Ferreira (1957), indica que embora a Formação Piradas não foram sujeitas a grandes e violentos movimentos tectônicos, essas camadas com impressões de folhas fósseis foram movimentadas por forças tectônicas, atuando em longo espaço de tempo, mas que não afetaram as camadas superiores. É possível relacionar esses movimentos tectônicos com a formação da falha do rio Caraparu. Outro exemplo são os granitos de Tauari e Tracuateua. E outros setores com calcários disjuntados e com planos de escorregamento com estrias nas rochas mais duras e fosses achatados (FERREIRA, 1957). Observar Figura 14

Figura 14 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Ackermann (1964) indica que no contexto dos movimentos oscilatórios de transgressão e regressão marinha possivelmente tenham sido formadas por bacias locais com diferenciação da fauna ou ausência da mesma. Como no sul de Capanema em Olaria, onde foram encontradas calcários com diversidade de fósseis intercalado entre o embasamento e fácies superior de Capanema.

Ackermann (1964), afirma que os movimentos tectônicos e as oscilações do nível do mar tiveram influência marcante sobre a sedimentação pirabas. Encontrando, assim, três tipos característicos de sedimentação:

a) Faixa de transgressão do mar de pirabas, marcada pela erosão vigorosa, erodindo parte do calcário e formando zonas de erosão, posteriormente preenchidas por mais calcário da mesma formação, em sequência de areia e argila; b) Na parte superior das camadas encontram-se fósseis, restos de quelônios, crocodilidae, sirinidae, dentes de peixes, etc. c) Novas fases de erosão atuaram sobre os calcário e argila da capa da formação pirabas, abrindo valetas de erosão, chegando ao embasamento. Sobre as argilas e os restos, houveram sedimentação de barreiras, e assim, na Região bragantina essa série chegou a 20 a 30 metros.

Ackermann (1964) destaca que a nova oscilação contribuiu para erosão que destruiu parte da série Barreiras, as argilas da capa, alcançando os calcários da formação Pirabas, formando sangas com cerca de 30 metros de profundidade. Depois desse ciclo, houve preenchimento das valetas de erosão quaternária, com material fornecido pelo barreiras. Na atualidade, ocorre novo avanço do mar com terras da costa marítima de Salinópolis, com ocorrência de pequenas falésias.

Salinópolis possui o baixo da plataforma continental formada pela clássica formação pirabas, se estendendo diversos quilômetros mar a fora, onde houve distribuição da parte velha da cidade e de uma igreja que foi tragada pelo mar (KEGEL, 1957 apud ACKERMANN, 1964; HARTT, 1957 apud ACKERMANN, 1964). Outro indicativo dessas oscilações são os sambaquis encontrados em áreas mais elevadas e distantes do atual nível do mar (PENA, 1876 apud ACKERMANN, 1964).

Ackermann (1964) destaca que os concheiros artificiais, ou minas de sernambi (denominação local), amontoados de conchas acumuladas pela dieta dos grupos que viviam nessa região, associados as outros artefatos da cultura eram utilizados para a fabricação de cal de sernambi (PENA, 1876 apud ACKERMANN, 1964). Existem também os concheiros naturais que são formados no fundo das baías ou rios, retirados por trabalhadores na maré baixa (ACKERMANN, 1964).

5.3 Os aspectos Paleontológicos

A existência de braquiúros em várias camadas indicando águas rasas formam os facies do mangue (SILVA; PETRI, 1957 apud ACKERMANN, 1964). A ausência de clásticos grosseiros indica pouca movimentação das águas de modo bastante raso. Por fim, tais situações indicam que apesar de um aparente predomínio do quaternário, há uma diversidade na região (ACKERMANN, 1964).

5.3.1 Formação Pirabas

Sioli (1951 apud SIOLI, 1960) indica a Formação Piradas, do Baixo Mioceno, sedimentos marinhos de mar raso de uma espessura pequena, cerca de 5 metros que recebe essa denominação por estar perto de São João de Pirabas, Pará. Tal formação é caracterizada por depósitos de calcário, extremamente raros na região amazônica e indicam a presença de um quimismo especial e diferente.

Quanto à delimitação de formação pirabas, Petri (1952 apud SIOLI, 1960) apresenta uma proposta de extensão e delimitação, por suas características mineralógicas uniformes e pelo quimismo das águas.

Estudos realizados por Penna (1876 apud ACKERMANN, 1964) na Ilha da Fazenda, em Salinópolis encontraram calcário com presença de fósseis da fauna marinha terciária, de idade miocena inferior.

Já o estudo de Sioli (1957) indica a delimitação da bacia da Formação Piradas por meio do pH da água mostrando que o mar de Pirabas é formado pela transgressão marinha.

De acordo com Égler (1961), a ocorrência de calcário da Formação Pirabas tem origem marítima nos sedimentos. Esses calcários são capeados por camada de sedimentos terciários, originando latossolos pobres relativamente espessos. Que economicamente são exploradas, como indicado nos estudos dos depósitos calcários em Capanema (ACKERMANN, 1964) e na construção da fábrica de cimento de Capanema, que segundo Pires & Carneio (1961) apresentam jazidas de calcário cerca de 60 anos de exploração intensiva.

A Formação Piradas é estratigráfica, e com característica de terciário marinho, tendo origem na transgressão marinha com penetração de cerca de 70km na direção do rio Guamá. É constituída também predominantemente por camadas horizontais de calcárioossilífero, de origem marinha, intercaladas por areias e argilas (ACKERMANN, 1964).

Os calcários da formação pirabas são caracterizados por sua posição horizontal e espessura de 2 1/2 a 5 metros. Ainda se tem calcário duro, em parte passando para arenito calcífero, altamente fossilífero e com cor escura, originado de coquina, composto de conchas quebradas, cimentadas e calcificadas posteriormente, podendo conter pequenas massas de calcário cristalizado, preenchendo as cavidades originais (MAURY, 1943 apud ACKERMANN, 1964). Ocorrem também outro tipo de calcário mais fino, perto de Japerica, tudo indica que os arenitos foram a base da formação pirabas (ACKERMANN, 1964).

Sioli (1960) afirma que na parte ocidental apresenta sedimentos de água doce, continentais, originárias do Quaternário Antigo (pleistoceno), “Formação Pará”, na “série das barreiras”, plioceno até o pleistoceno, do baixo Amazonas (OLIVEIRA; LEONARDOS, 1942 apud SIOLI, 1960).

5.4 Geomorfologia

Alguns trabalhos pioneiros já tratavam dos aspectos geomorfológicos da região, a evolução do relevo se processou no ‘jogo de erosão’ sobre a estrutura diferenciada pela tectônica (STERNBERG, 1957 apud ACKERMANN, 1964) na Região Bragantina, antigo peneplano dissecado, com elevações máximas de 50 metros, que se estende para leste de Belém até o rio Gurupi (ACKERMANN, 1964).

Égler (1961), indica que topograficamente a Região Bragantina apresenta terrenos levemente ondulados com extensos trechos planos. Já Sioli (1960) destaca o predomínio de terrenos baixos de terra firme, não alcançados por enchentes de rios ou variação de maré.

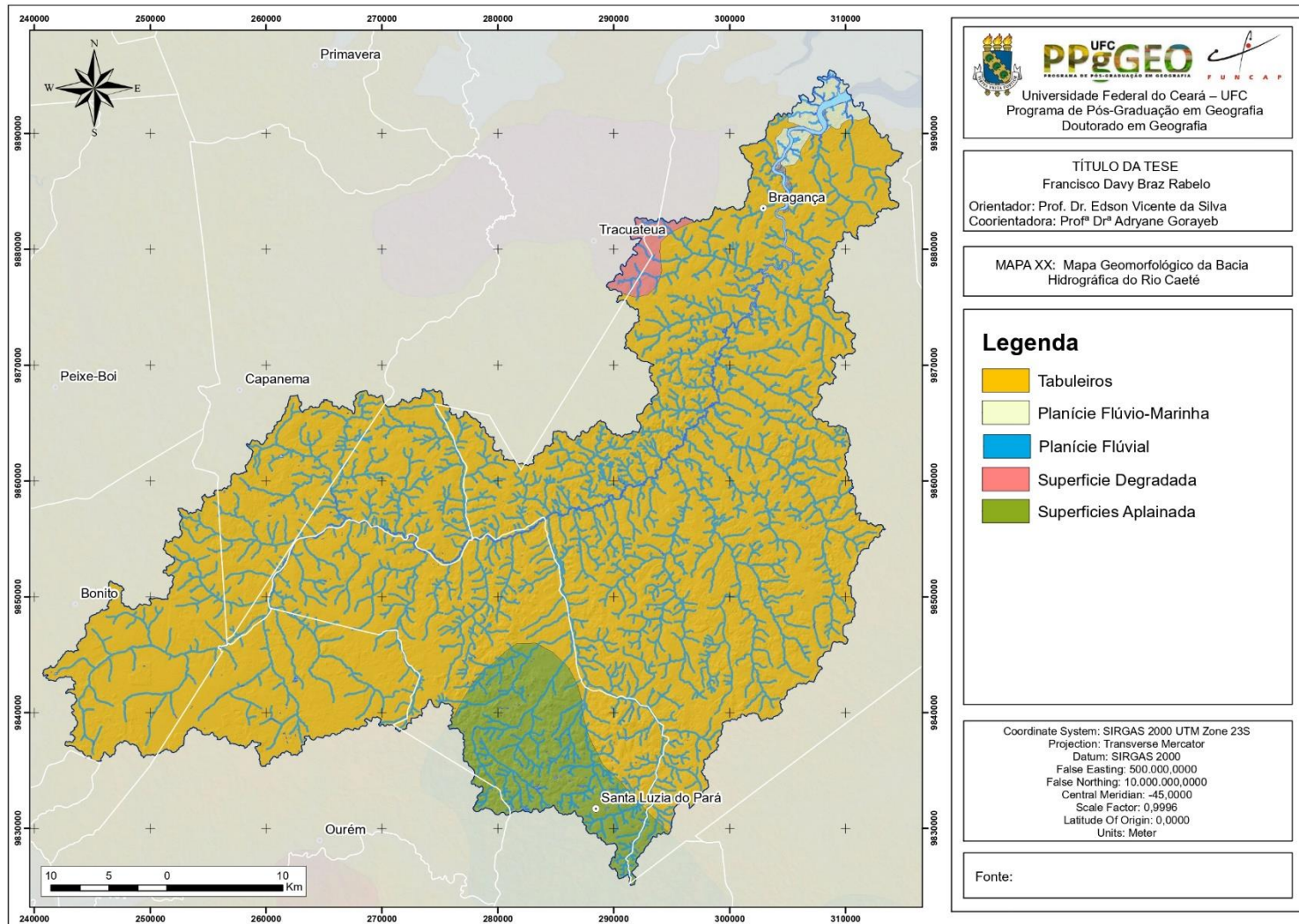
Os levantamentos de Ackermann (1964) realizados por meio de sondagens de poços indicam erosão, apenas em alguns setores mais altos observa-se pequenos tabuleiros, testemunhos de antigo peneplano.

Os sedimentos apresentam espessuras variadas, no Setor de Capanema com cerca de 30 metros, ocupando apenas as áreas mais elevadas do município. A erosão foi intensa, em setores em que está a cidade, segundo Ackermann (1964), expondo a formação pirabas, chegando a setores do embasamento fundamental. Além das camadas de sedimentos com terras levemente onduladas e cobertas por uma capa de nódulos lateríticos, abaixo argilas e área (ACKERMANN, 1964). Como indica a Figura 15.

Regiões com areias, grandes extensões encontradas ao redor de Capanema, que assentam sobre a pirabas são paleodunas do antigo mar de pirabas, deslocadas para o interior

devido ao recuo do mar indicando um levantamento progressivo, sendo separados os graões por ação eólica (ACKERMANN, 1964). Também ocorrem a presença de dunas em Tracuateua, distante cerca de 100 km da atual costa marítima (ACKERMANN, 1964).

Figura 15 - Mapa Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



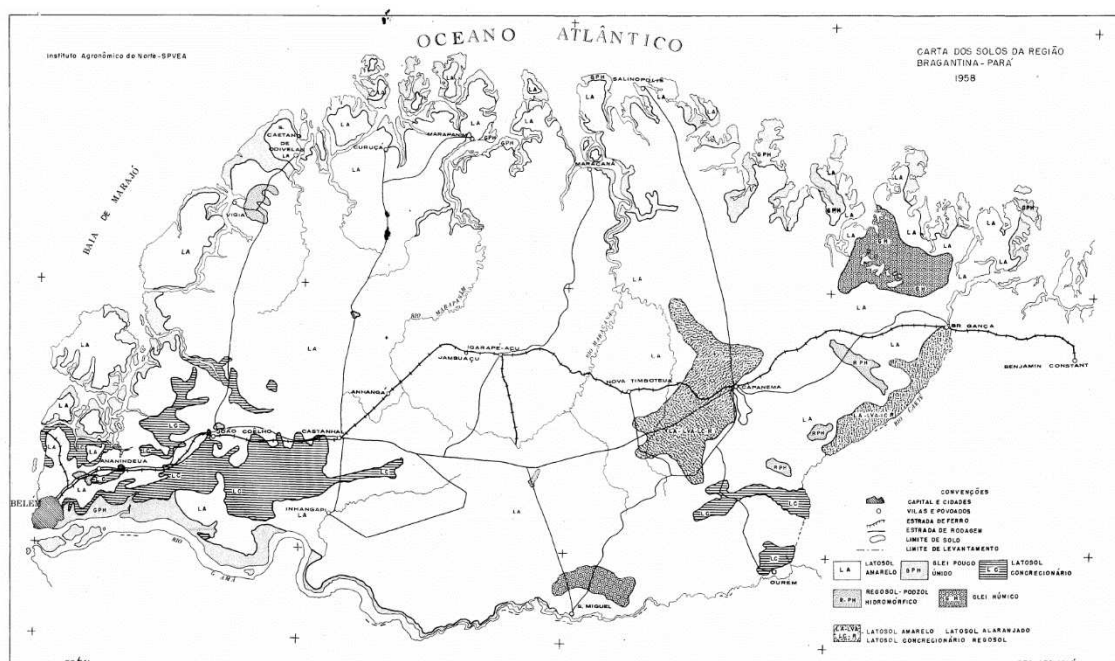
Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A erosão teve um importante papel na modelagem do relevo local pois os calcários sofreram erosão, como exemplo dos terrenos aluviais recentes e inundável nas margens do rio Caeté, inclusive em suas fases de sedimentação. A presença do ácido húmico das partes alagadiças, baixadas, pela ação das raízes das plantas sobre os calcários e outros agentes dissolventes contribuíram para este processo de modelagem (ACKERMANN, 1964).

No contexto do entorno da bacia são configurados os divisores de água da costa atlântica ao norte e o rio Guamá ao sul, correndo os rios e igarapés para o norte ou para o sul (SIOLI, 1960).

A leste da Região Bragantina termina uma superfície do complexo fundamental cristalino, constituído principalmente por gneisses, granitos, etc, do arqueano, sobrepostos por uma zona de filitos decompostos de origem algonquiana, denominada de série Gurupí. Essas camadas são fortemente planificadas por processo de abrasão e possuem somente pequena espessura, onde durante o mioceno avançava como península para dentro do mar raso de Pirabas, que naquele tempo tinha transgredido a costa norte do Brasil (SIOLI, 1960). Ver Figura 16.

Figura 16 - Proposta de divisão da Zona Bragantina do Pará.



Fonte: Sioli (1958)

Sioli (1960) propõe uma divisão da Região Bragantina em três regiões a partir do critério geológico-mineralógico: a) oeste, sedimentos de água doce continentais arenosos até

argilosos, do grupo barreiras, com origem plioceno-pleistoceno, ocorrendo em grandes extensões da baixada amazônica; b) centro, formação pirabas, marinha, do baixo mioceno e; c) leste, dos gnaisses, do complexo fundamental cristalinos, sobrepostos localmente por camada algonquianas. BRASIL (1973, p.7) destaca do ponto de vista geomorfológico em escala regional uma reação entre a estrutura e morfologia, apresentando evidências de relativa instabilidade tectônica.

Regionalmente destaca-se a relação entre as formas de relevo com os solos, como lembrado por BRASIL (1973, p.I/10), estando a área dentro do componente Planalto Rebaixado da Amazônia, caracterizado como uma superfície de transição entre a faixa costeira e o Planalto Setentrional Pará-Maranhão e Litoral de "Rias" e Lençóis Maranhenses, correspondente à faixa de sedimentos recentes associados a ilhas, bacias e canais que acompanham a linha de costa, apresentando ainda cordões arenosos, dunas, mangues e algumas falésias (BRASIL, 1973, p.I/11).

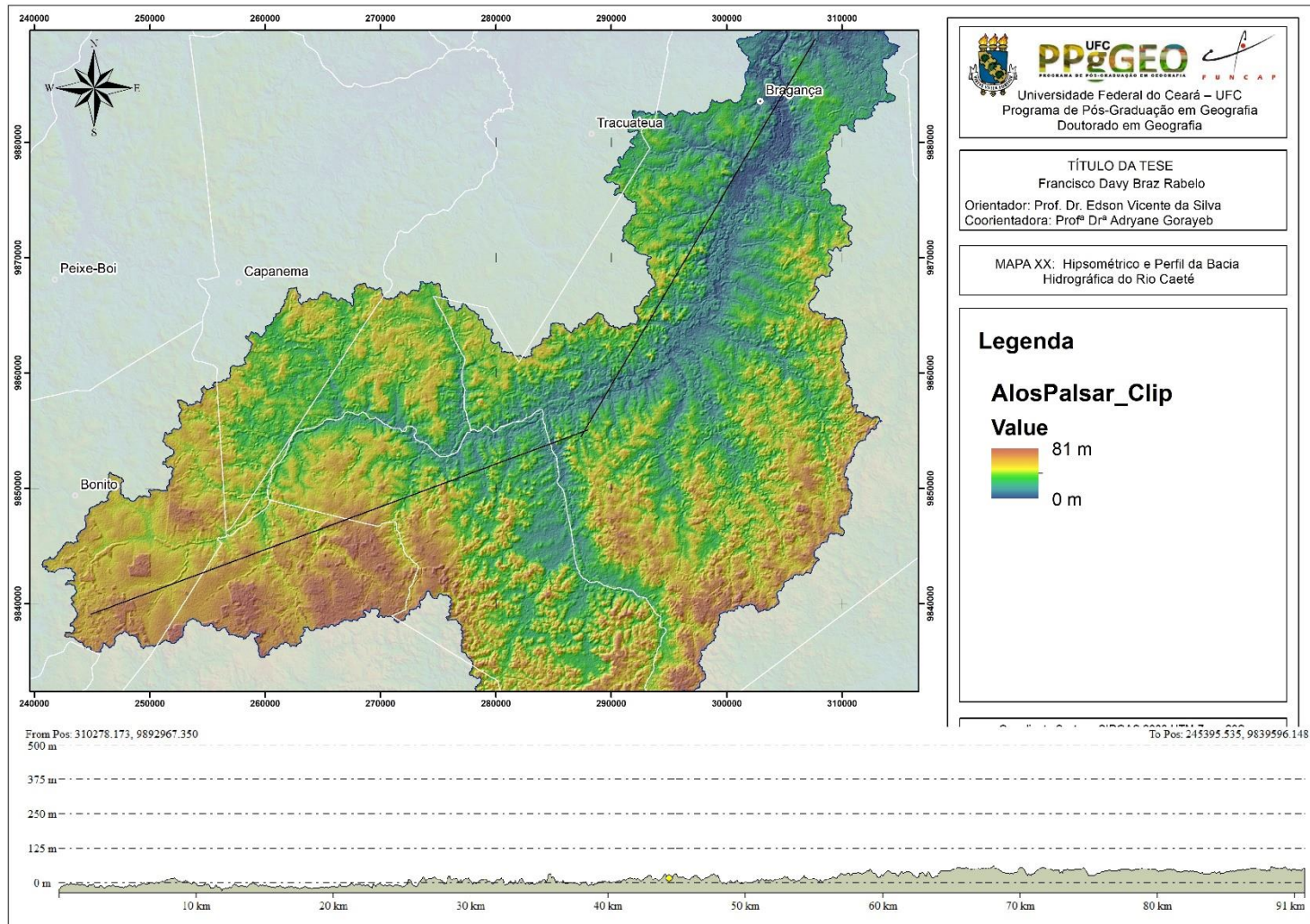
Conjunto de relevo é predominantemente rebaixado, produto de morfogênese semiárida nos setores meridionais e recebendo influência litorânea nas áreas mais setentrionais. Contando com interferências tectônicas localizadas e apresentando litológica minimizadas pela homogeneidade ante aos processos erosivos (BRASIL, 1973, p.II/07).

Na classificação das Unidades Morfo-estruturais e Morfoclimáticas apresentadas pelo projeto RADAM Brasil, 3.4 Planalto Setentrional Pará-Maranhão, com relevo fortemente dissecado nas formações sedimentares (Barreiras e Itapecuru), apresentando superfícies com rebordos erosivos que inclinam para o norte, na direção do litoral, e noroeste, em direção ao golfo amazônico, encontrando-se entalhada nos vales e rios que seguem direção NE (Gurupi) e N-NW (Campim e Guamá). (BRASIL, 1973, p.II/15).

Essa dissecação intensa é presente no sentido norte para sul, controlada pela drenagem que desagua no litoral paraense, propiciada por litologia sedimentar com comportamento pouco resistente ante uma morfogênese úmica, oriunda da cobertura vegetal (BRASIL, 1973, p.II/15).

As movimentações sucessivas do nordeste do Pará encontram-se indicadas pelas diversas alterações de direção dos grandes rios reencaixamento da rede de drenagem; retomada da erosão nos vales e rebordos erosivos, além dos afloramentos do Pré-Cambriano (BRASIL, 1973, p.II/15).

Figura 17 – Modelo digital de elevação correspondente a bacia hidrográfica do rio caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Litoral de "Rias" e "Lençóis Maranhenses", compreende faixa de sedimentos holocênicos, associados a ilhas, baías e canais, acompanhado linha de costa de direção geral NW-SE. No setor oeste predominam as "rias", com formação de praias vasosas, manguezais, dunas, restingas e pequenas falésias (BRASIL, 1973, p.II/16)

Este trecho das "rias", recebe subdivisão em quatro feições morfológicas. A segunda é de costa baixa, recortada, apresentando manguezais penetrando nos vales afogados, estendendo-se da foz do rio Maracanã até à baía de Turiaçu (BRASIL, 1973, p.II/16).

Planalto Rebaixado da Amazônia (da Zona Bragantina), constitui uma estrutura geológica do Grupo Barreiras. Tendo o Pediplano Central do Maranhão como unidade contígua, que dissecou, rebaixando assim as altitudes e conservando relevos tabulares oriundos de efeitos erosivos (BRASIL, 1973, p.II/17). Ainda localmente essa dissecação do Planalto seguiu elementos estruturais, predominantemente nas linhas de fraturas.

Rios que foram entulhados pela transgressão marinha mais recente (?) apresentam atualmente entulhamento de materiais finos e várzeas (BRASIL, 1973, p.II/17)

No contexto regional a evolução do relevo destaca as relações estruturais geológicas com a morfologia com evidências em sua maioria de ordem genética, evidenciando assim ações tectônicas (BRASIL, 1973, p.II/19). Existindo entre as áreas de influência de morfogênese recente, diretamente ligada ao litoral e ação bioclimática da floresta, estando assim influências litológica pontualmente localizadas (BRASIL, 1973, p.II/19).

Importante destacar o papel dos movimentos eustáticos na configuração do relevo, em especial das planícies fluviomarinhas e sublitôneas (BRASIL, 1973, p.II/20). Sendo duas ingressões marinhas (AB'SABER, 1969 apud BRASIL, 1973, p.II/21), onde a segunda, mais recente, correlata à transgressão Flandriana, início do Holoceno, estando relacionada a costa de "rias" e falésias do litoral ocidental.

No contexto do baixo curso do rio Caeté, é possível identificar quatro principais feições: Dentre as unidades características da bacia podemos apresentar nas seguintes em ordem:

5.4.1 Planície Costeira

Sedimentos areno-argilosos, siltosos e lamosos do Quaternário. Constitui-se enquanto zona de transição entre os ambientes deposicionais continentais e marinhos. Com baixa amplitude topográfica e recebendo forte influência das variações do nível do mar

(DAVES JÚNIOR, 1983; FRASER, 1989 apud SOUZA FILHO, 2000).

Segundo Souza Filho (2000 apud GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.32) é recortada pela planície estuarina e limita-se a sul por falésias moras de 1 a 2m de altura, esculpidas no planalto costeira, e a norte pela baía Ceeté-Urumajó, condicionada por processos marinhos.

O Grupo Barreiras, nas proximidades do litoral, é capeada por depósitos recentes, com ligeiro caimento na direção norte, aluvionares ao longo do rio, constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas. E dunas predominam em orientação NE-SW, (BRASIL, 1973, p.I/21,22).

5.4.2 *Planície Estuarina*

Sedimentos argilo-siltosos e lamosos do Quaternário. Delimitada pela Planície Fluvial no limite superior da influência das macromarés e a norte pela Baía Ceeté-Urumajó, Figura 18, onde deságua o rio Caeté, sendo margeado pela Planície Costeira e Planalto Costeiro (GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.33)

Figura 18 - Estuário do Rio Caeté



Fonte: Landsat (2017).

Conta com características típicas de estuários de planície, formados durante a transgressão do mar durante o Holoceno, quando houve a inundação dos vales dos rios, sendo este bastante acentuada sobrepujando a sedimentação e topografia atual, apresentando características muito semelhantes do vale do rio (SOUZA FILHO, 2000 apud GORAYEB e

PEREIRA, 2014, p.33)

No processo recente de sedimentação o fundo da planície é preenchido com lama e sedimentos finos na sua parte superior, tornando-se mais grossos em direção a entrada. (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE,2002 apud GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.33).

5.4.3 Planície Fluvial

Apresenta sedimentos aluviais areno-argilosos do Quaternário, com relevo plano e corta no sentido sudoeste-nordeste grande parte da Planície Costeira (GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.34)

Pode ser subdivida em dois setores a) alto curso do rio Caeté, com canal meandrante regular; b) médio curso do rio Caeté com meandro irregulares e tortuosos, apresentando ramificações e bancos de areia centrais próximo ao limite norte da Planície (GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.34)

5.4.4 Planalto Costeiro

São compostos por sedimentos areno-argilosos terciário-quaternários do p.35).

Sendo importante destacar que a Formação Barreiras, constituída por "sedimentos clásticos mal selecionados variando de siltitos a conglomerados", apresentando cores predominantes de amarelo e vermelho, variando pouco de local para local, no geral os arenitos são caulínicos com lentes folhelhos (BRASIL, 1973, p.I/21).

No Grupo Barreiras, constituem o topo dos altos platôs, aplainando-se em direção ao litoral, compreendendo as cidades de Castanhal, Capanema, Bragança e Irituia, além dos vales do rio Capim e Guamá (BRASIL, 1973, p.I/21).

Não é precisa a datação pela ausência de fósseis, admitindo-se Terciário, por englobar o calcário fossilífero Pirabas do Mioceno Inferior (BRASIL, 1973, p.I/21)

Apresenta uma superfície plana arrasada, suavemente ondulada e fortemente dissecada, com variações altimétricas de 50 a 80m, reduzindo gradualmente próximo a planície costeira (BRASIL, 1973; GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.35).

No contexto regional, Souza Filho (1995 apud GORAYEB e PEREIRA, 2014, p.35) destaca a transição entre o planalto costeira e a planície costeira onde apresenta uma mudança litológica brusca, eventualmente apresentando afloramentos da formação com falésias

de até 1m.

No Planalto Setentrional Pará-Maranhão, entalhado sobre a litologia da Formação Barreira, foi intensamente dissecado. Em nível regional ele decai para leste, em direção à Superfície Sublitorânea de Bacabal e, para norte, em direção ao Planalto Rebaixado da Amazônia, coalescendo, também junto ao litoral, os níveis de aplainamento diferente (BRASIL, 1973, p.II/20).

5.5 Solos

Configurando extensas áreas de capoeira, as áreas denominadas de terra firme são constituídas de latossos amarelos e alguns trechos com laterita concrecionário, inviabilizando práticas agrícolas de ciclo anual (ÉGLER, 1961).

Com solos poucos compactos por conta da predominância arenosa, com baixa fertilidade natural, a necessidade de complementação de ração do gado com sais, por conta da ausência de sais acentuadas em algumas áreas com sedimentos terciários mais recentes dificultam a pecuária (SIOLI, 1960). As limitações dos solos em recursos intensificam o desmatamento e as queimadas (ACKERMANN, 1964; SIOLI, 1960). Problemas relacionados a lixiviação dos solos, pelas intensas precipitações pluviométricas (ÉGLER, 1961).

O solo tem um caráter de sedimentos continentais formados com quase totalidade de cobertura das terras da Região bragantina, sedimentos desprovidos de elementos nutritivos e elevado teor de sílica. Apresentando pouca produtividade, apesar dos solos com sedimentos marinhos serem mais férteis, a formação pirabas está muitas vezes recoberta pelo barreiras. Mas, nas áreas que são aflorados formam um massapê de alta fertilidade (ACKERMANN, 1964).

Nas superfícies do grupo barreiras apresentam pouca matéria orgânica e sais minerais, além, de extensas áreas cobertas por núbulos limoníticos e grês do Pará, apresentando a laterização, intensificada pelo desmatamento (SETZER 196? apud ACKERMANN, 1964).

O laterite é um solo morto, rocha que não se decompõe. Denominadas de piçarras, que são utilizadas no revestimento de estradas. E as baixadas das planícies fluviais são utilizadas por serem mais férteis, na criação de animais (ACKERMANN, 1964).

5.6 Clima

A Bacia Hidrográfica do Rio Caeté é localizada no norte do Brasil. Nesta região o clima é influenciado principalmente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é desenvolvida pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e Sul, que causam regiões de baixa pressão em superfície por movimentos ascendentes de ar muito úmido resultando no surgimento de uma banda nebulosidade, na qual há o maior teor de precipitação do planeta Terra (TEODORO; REBOITA; ESCOBAR, 2019).

Esse sistema tende a se deslocar latitudinalmente seguindo as localidades em que há picos de máxima radiação solar, ou seja, esse sistema atua em fase com o solstício de verão referente a cada hemisfério. Além disso, sobre os continentes, esse sistema se desarranja devido à interação com a excessiva convecção tropical, agindo sobre fontes de calor latente. (ROSA; SILVA, 2016).

Na América do Sul, especificamente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, a Zona de Convergência Intertropical impacta diretamente o regime de chuvas, pois a banda de nebulosidade se encontra mais ao sul do Equador durante o verão e outono, agindo sobre essas áreas e atua com maior intensidade nas Bacias Amazônicas, por essas serem fontes de calor latente. Desse modo, na transição do verão austral para o outono do hemisfério sul, há uma maior ocorrência de milímetros acumulados de precipitação, principalmente nos meses de março e abril (UVO, 1989). A partir de setembro, a ZCIT se encontra deslocada mais para o norte e essa variação está associada com um período de secas.

A climatologia, conforme estabelecido pela *World Meteorological Organization* (WMO) é um estudo das características do clima de uma determinada região levando em consideração, durante um longo período de tempo, o comportamento médio das variáveis atmosféricas como temperatura, precipitação, vento e pressão atmosférica que tendem a variar espacialmente e temporalmente em todo o globo de acordo com fatores geográficos como: latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, vegetação e atividades humanas.

Em estudos meteorológicos para caracterização de um local ou região, sempre tratamos de clima, pois, de maneira simplificada, tempo é o estado atual da atmosfera e clima é o “tempo médio”, ou seja, uma descrição estatística das características da atmosfera do local alvo de estudo. Portanto, é necessário que exista uma rede de obtenção de dados funcionando de forma sistêmica no mesmo lugar durante um longo período de tempo.

A observação meteorológica de superfície, realizada nas estações meteorológicas, consiste na coleta diária de diversas variáveis atmosféricas, para isso utilizam-se diferentes

tipos de instrumentos ou sensores que são capazes de registrar a velocidade e direção do vento, temperatura, umidade relativa, radiação solar, precipitação, etc. Esses instrumentos de medição, em estações convencionais, como a de Tracuateua, ficam em um abrigo meteorológico com uma série de regras que são estabelecidas pela WMO. Nesse tipo de estação, a presença constante de um meteorologista é importante para coletas dos dados. Os instrumentos que compõem esse tipo de estação são normalmente de leitura direta.

Na região da Bacia do rio Caeté há dois tipos de estação meteorológica, ambas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMet) sendo a de Bragança uma estação automática e a de Tracuateua uma estação convencional. Estações automáticas, como a estação de Bragança, atualmente mais utilizadas, possibilitam a obtenção dos dados em escala horária e via redes de comunicação. Ainda de acordo com a WMO, a representatividade de uma estação meteorológica automática é de um raio de 30 km em uma região de relevo plano e cobertura do solo contínua.

Para o estudo da caracterização climática foram usados os dados observados de toda a série disponível, sendo a estação de Tracuateua de 1973 a 2019 e a estação de Bragança de 2009 a 2019.

Devido à mudança de uso do solo ao longo do tempo na Bacia do rio Caeté é importante realizar um estudo climatológico da região a fim de detectar possíveis mudanças na temperatura e precipitação, além de analisar também eventos extremos secos nesta região.

5.6.1 Caracterização climática

Sobre a superfície terrestre têm-se uma grande variedade de tipos climáticos. Para determinar o tipo de clima de uma região foram construídos modelos de classificação climática, de acordo com Ayode (1996), existem duas abordagens fundamentais: a genética e a empírica. A primeira é baseada nos controladores climáticos (latitude, continentalidade, altitude, entre outros), incluindo padrões de circulação, radiação e fluxos de umidade; já a segunda é baseada nos próprios elementos climáticos (temperatura, precipitação, vento, entre outros) ou em seus efeitos sobre a vegetação e sociedade. Neste estudo serão utilizadas classificações empíricas de Köppen e Köppen-Geiger.

5.6.2 Classificação Climática de Köppen

Definida pelo climatologista alemão Wladimir Köppen em 1918, neste modelo, cada clima é definido de acordo com os valores de temperatura e precipitação calculado em termos anuais ou mensais, sendo possível identificar o grupo climático e subgrupo de qualquer localidade somente com base em seus registros de temperatura e precipitação.

Seus critérios foram estipulados levando em consideração os limites de temperatura e chuva necessários ao desenvolvimento dos tipos de plantas características de cada região do globo. Definiu-se então cinco grupos climáticos principais que foram identificados por letras maiúsculas: A - Climas tropicais úmidos; B - Climas secos; C - Climas úmidos de latitudes médias com invernos amenos; D - Climas úmidos de latitudes médias com invernos severos e; E - Climas polares.

Estes cinco grupos ainda são subdivididos em outros, que têm como base a distribuição sazonal de precipitação e características adicionais de temperatura do ar. A segunda letra minúscula representa as particularidades do regime de chuva e a terceira letra minúscula representa a temperatura característica de uma região.

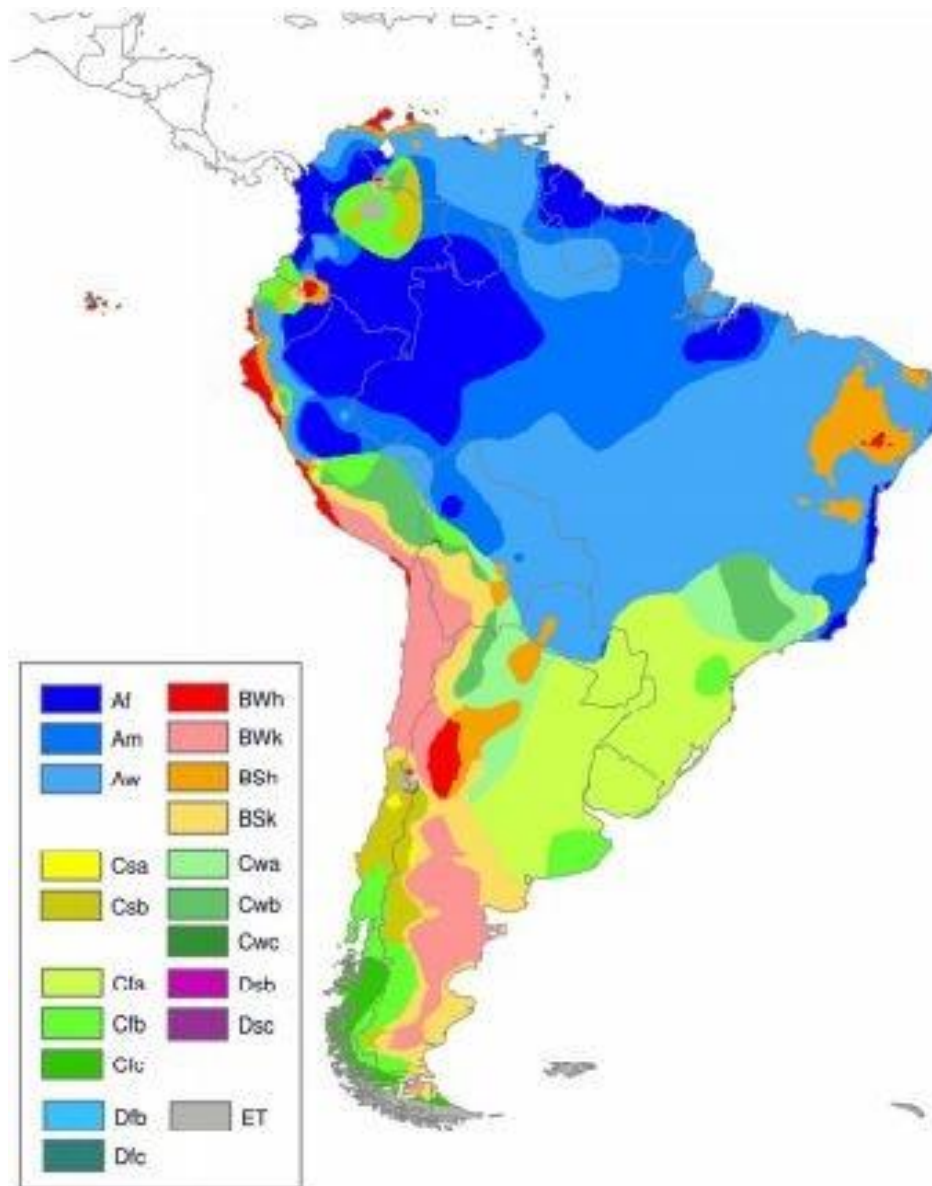
5.6.3 Classificação Climática de Köppen-Geiger

É uma adaptação do sistema de classificação climática de Köppen feita com a colaboração de Rudolf Geiger, sendo uma das mais utilizadas em climatologia, geografia e ecologia.

Nesta classificação cada clima é definido de acordo com os valores de temperatura do ar e precipitação calculados em termos anuais e mensais. É baseada nos elementos climáticos, precipitação, temperatura do ar e a vegetação natural (fator climático). Sua vantagem é poder ser utilizada à medida que as características da vegetação e do clima mudam.

Peel *et al.* (2007) atualizaram a classificação climática de Köppen-Geiger para todo globo a partir de dados observados em estações meteorológicas e, para a América do Sul, esses autores relatam que devido à baixa densidade das estações em superfície e às falhas nos dados observados nessas estações, alguns tipos de clima se estendem mais do que o esperado, como pode ser observado na Figura 19, concluindo que a qualidade do mapa final depende da qualidade do dado de entrada.

Figura 19 - Classificação climática de Köppen-Geiger atualizada para a América do Sul.



Fonte: Peel et al. (2007)

Köppen-Geiger *et.al.* (1936) definiram que para determinar a classificação climática de Köppen-Geiger são utilizados os limiares de temperatura do ar e precipitação, sendo essa classificação climática dividida em grupos, tipos e subtipos.

Segundo os autores, a classificação climática de Köppen-Geiger é desta forma:

- Primeira letra é referente a classificação de Köppen do item 5.6.2, sendo ela maiúscula e que denota a característica geral do clima.
- A segunda letra é minúscula e corresponde à precipitação.
- A terceira letra é minúscula, denotando a temperatura média mensal do ar

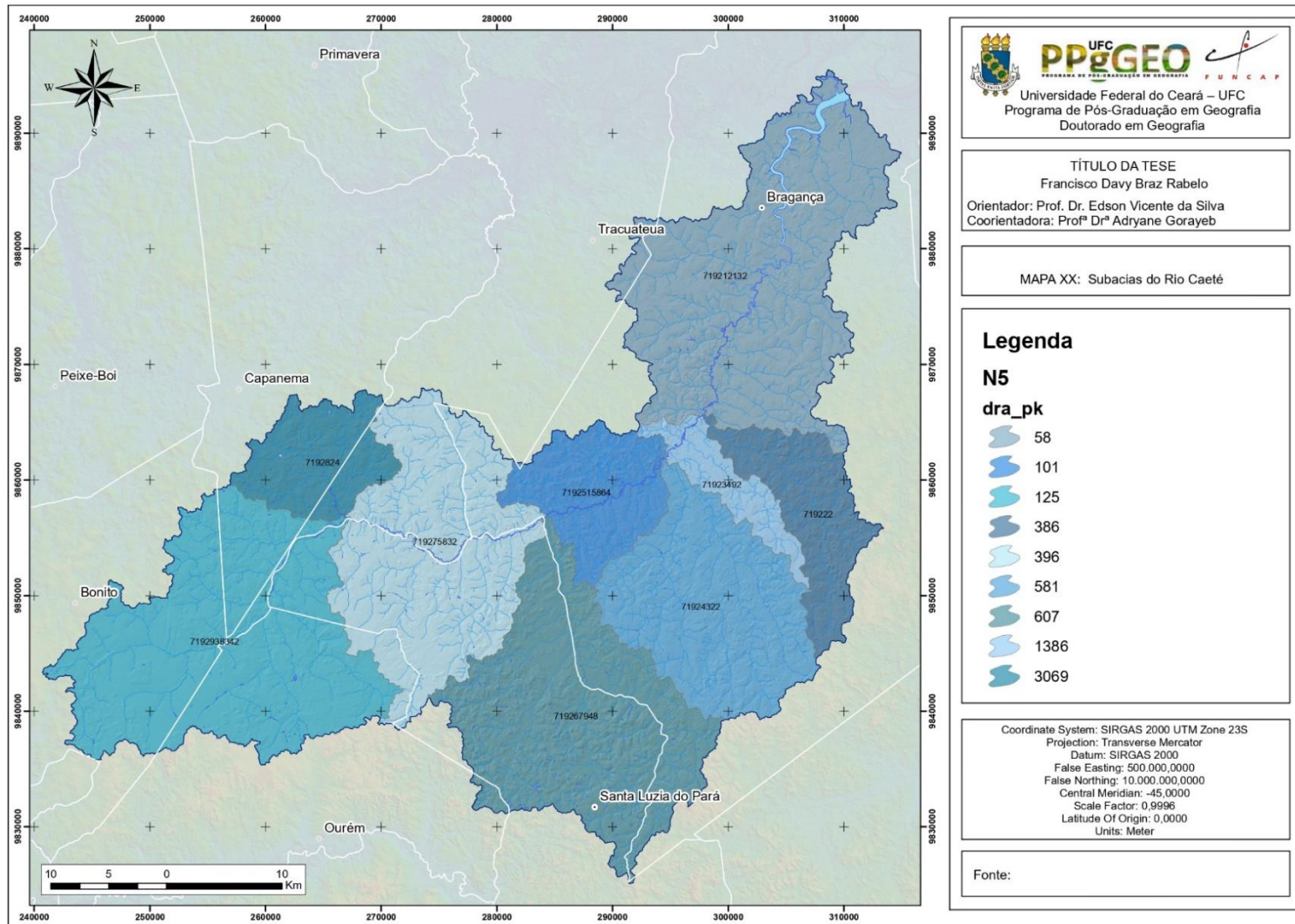
(quando a primeira letra for “C” ou “D”) ou a temperatura média anual do ar (quando a primeira letra for “B”).

5.7 Hidrografia

Os rios da Região Bragantina estão sujeitos a influências das marés, que nos períodos de estiagem se manifestam até o alto curso e as baías extensas com baixios e bancos de areia, que dificulta a navegação (ACKERMANN, 1964). É importante destacar as consequências na modificação do regime das águas, com diminuição da vazão dos rios, inclusive alguns secaram por conta do desmatamento. além do rebaixamento de volume dos rios e igarapés, em áreas com abundancia, em tempos de estiagem ausência absoluta de água (ACKERMANN, 1964).

Em algumas depressões há formação de águas estagnadas, águas pretas, em bacias fechadas, com fundo silicoso, com matéria orgânica ou formação de húmus, encontrando águas escuras, já as águas pretas têm origem dos podsols onde há boa (SIOLI, 1957 apud ACKERMANN, 1964). Na região, Sioli (1951, 1960) realizou um trabalho sobre as pesquisas limnológicas na região da estrada de ferro de Bragança, relacionando os aspectos edafológicos, geológicos (mineralógicos) e limnológicos e a qualidade dos corpos da água em terra firme. A Figura 20 representa as principais subbacias do Rio Caeté.

Figura 20 - Mapa das subacias da bacia hidrográfica do rio caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

5.8 Vegetação

De acordo com Gorayeb (2008) e Gorayeb e Pereira (2014), na BHRC existe o predomínio de três formações vegetais: Vegetação Florestal Perenifólia, Vegetação Hidrófila e Floresta Amazônica de Terra Firme. Todavia, por conta das modificações causadas pelos diferentes tipos de uso ao longo de sua ocupação há o predomínio da Vegetação Florestal Secundária, localmente denominada de “mata capoeira”, além dos pastos e lavouras permanentes e temporárias.

Silva (2002) destaca ainda que as florestas secundárias, concentram-se nos planaltos costeiros), Vegetação de Mangue na planície fluvio-marinha e Campos Herbáceos (que ficam sobre a planície costeira), conforme Figura 21, e arbustivos (SILVA, 2002).

Figura 21 - Presença de Campos Herbáceos próximo à margem do rio Caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Segundo a classificação da EMBRAPA (1988) denomina três fisionomias 01) Vegetação Secundária, que ocupa setores originalmente recobertos pela Floresta Equatorial Subperenifólia, denominada de “capoeira”; 02) Florestas Hidrófila e Higrófila de Várzea, em setores menos degradados da planície, denominada de “mata de várzea ou igapó”; e 03) Vegetação de Mangue, recobrendo áreas ciliares à Planície Estuarina e em setores da Planície Costeira e do Planalto Costeiro (SANTOS et al.,1999; GORAYEB, 2008).

Mais recentemente Costa (2017) apud IBAMA (2014), indicou a presença de dois estados predominantes, vegetação primária, ainda presente em apenas cerca de 8,77% da área da bacia e vegetação secundária, ocupando cerca de 91,23%, destacando os aspectos relacionados ao histórico de ocupação e degradação relacionados a agricultura perene e pecuária extensiva, Figura XX. Caracterizando as seguintes formações: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas com dossel emergente; Vegetação Pioneira de Influência Fluviomarinha Arbórea; Vegetação Pioneira de Influência Fluvial Herbácea e Vegetação Secundária sem Palmeiras.

Nos setores de alto e médio curso do rio Caeté, a vegetação de Terra Firme encontra-se como Floresta Secundária em diferentes vários estágios de regeneração, que sucederam Floresta Densa dos baixos platôs da região Pará/Maranhão. Já nas planícies aluviais ocorrem Florestas de Várzeas e faixas litorâneas e semi-litorâneas, que ainda sofrem alguma influência da salinidade, o predomínio vegetal é dos manguezais (*Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*) e na transição da faixa litorânea com terra firme encontram-se vegetação riparia importante na conservação do meio ambiente (PARÁ, 2006; DE LIMA et al. 2011; SANTOS, DE LIMA, 2018).

Os rios e iguarapés drenam depressões dos terrenos ondulados, pequenos vales íngremes ocupados por miritisais, caranasais e assaisais encharcados e/ou associação de diversas espécies arbóreas dicotiledôneas. Essas baixas cheias de água são privados da sua vegetação original de plantas altas e servem para a maceração e lavagem de fibras de Malva e Uacima (SIOLI, 1960). Na superfície da água rasa é exposta os raios solares e são encontradas folhas de nymphaceas e nas margens maiores ou menores acumulações de eleocharis, aparentemente limitada a águas bastante ácidas (SIOLI, 1960).

No entorno das reentrâncias, rias, denominadas de florestas pioneiras (GÓES FILHO et al., 1973), ocupadas por vegetação de manguezais e campos naturais. A Vegetação de Mangue está presente no baixo curso e setor estuarino da bacia, que é dinâmica (SOUZA FILHO & EL ROBRINI, 1996). Como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22:

Figura 22 - Imagem da Vegetação de Mangue na zona estuarina da bacia hidrográfica.



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Sobre a manguezal existe diversos trabalhos sobre a dinâmica e mudanças temporais (COHEN, 2018). Existe na costa uma faixa de mangue com largura variável, como pode ser observado na Figura 16, acompanhando as margens dos rios, de bocas largas para o mar, até onde penetra a água salobra (SIOLI, 1960). Assim, Sioli (1960) destaca que os campos naturais, mangues e dunas são frações paisagísticas no quadro total da Zona Bragantina.

Abreu (2008) propõe uma subdivisão tendo como base as variações de marés, utilizando como critério a altimetria relativa e o porte de vegetação:



- a) Manguezal de supramaré. Em setor topograficamente mais elevado, apresenta menor porte arbóreo e que sofre influência de maré apenas na sizígia. Apresentando florestas isoladas, com diversas áreas elevadas com cerca de 25 m de altura nas regiões centrais da península, rodeadas por vegetações herbáceas, que ficam em setores um pouco mais elevados e que não são frequentemente inundados, e manguezal. Respectivamente, nesses setores em relação as espécies são encontradas *Eleocharis geniculata*, *Fimbristylis spadicea* (Cyperaceae) e *Sporobolus virginicus* (Poaceae), nas áreas mais elevadas, já na grande maioria da península, são encontradas espécies bem desenvolvidas, entre 10 a 25 metros de altura,



destacando-se *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (ABREU apud COHEN, 2003).

b) Manguezal de intermaré, localizado em setor topograficamente mais rebaixado, com maior porte arbóreo, apresentando frente de progradação colonizadas recentemente e que bordejam a área da planície costeira. Sendo estes setores ocupados principalmente por *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*, além de *Laguncularia racemosa* e *Spartina sp.* associados.

Cohen (2003) ainda indica a presença de outras unidades de vegetação, encontradas no setor da península e condicionadas pelas variações topográficas, processos físicos e fatores ambientais relacionadas as inundações e salinidade:

Quadro 5 – Unidades de vegetação na península

Unidades de Vegetação	Característica	Exemplo
Florestas isoladas	Até 25 metros de altura, ocorrendo em áreas centrais da península, estando cercados por pântanos salino e/ou manguezais. Possivelmente associados a vegetação de terra firme e restinga.	
Pântanos salinos	Com ocorrência em setores um pouco mais elevados que os manguezais. Não sendo frequentemente inundados, espécies: <i>Eleocharis geniculata</i> , <i>Fimbristylis spadicosa</i> (Cyperaceae) e <i>Sporobolus virginicus</i> (Poaceae).	

<p>Manguezais bem desenvolvidos</p>	<p>Apresentando de 10 a 25 metros de altura, com espécies características:</p> <p><i>Avicennia germinans</i>, nos setores mais altos no centro da península, <i>Rhizophora mangle</i> e <i>Laguncularia racemosa</i>, dominam os setores intermediários e mais rebaixados.</p>	
<p>Restingas</p>	<p>Caracterizado por vegetação de grama costeira, em alguns setores de planícies arenosas, dunas estáveis e instáveis, nas proximidades da linha de costa.</p>	

Fonte: Adaptado de Cohen (2003).

6 HISTÓRICO E CONTEXTO DA OCUPAÇÃO DA ZONA BRAGANTINA

Os estudos referentes à ocupação e povoamento da Amazônia são diversos e vêm sendo realizados há muito tempo na Região Bragantina, sendo estas áreas uma das mais antigas em termos de ocupação (ÉGLER, 1961). Desde os tempos pré-históricos, a região já apresentava ocupação e povoamento, nos estudos do Projeto Salgado, nas décadas de 1960 a 1980, foram encontrados sítios arqueológicos que indicam a evidência de ocupação humana pré-colonial no litoral, denominados de grupos sambaquieiros. Pesquisas mais recentes no sítio Jabuti (SILVEIRA *et al.*, 2011) e na avaliação de solos antropogênicos (SOUZA *et al.*, 2016) permitiram a datação do material coletado apresentando idades de aproximadamente 2.900 anos AP.

Nos estudos de Silveira *et al.* (2011) foi correlacionado que essa ocupação primitiva possivelmente ocorreu no segundo momento do modelo de evolução geológica da zona bragantina no litoral do Salgado, estabelecido por Souza Filho *et al.* (2009). A localização atual do sítio estudado corresponde com a formação da primeira barreira (ilha de terra maior) próxima ao continente, com seu desenvolvimento iniciado em 5.900 cal anos AP (SOUZA FILHO *et al.*, 2009).

6.1 Primórdios históricos e projetos de povoamento

Segundo Égler (1961), em seus primórdios históricos, o desenvolvimento de Belém influenciou francamente na ocupação da região como consequência direta da sua posição geográfica, além da vigilância e entreposto comercial, enquanto porta de entrada da Região Amazônica, desde 1616. Na sequência, outro núcleo, em 1662, denominado de Sousa do Caeté, futura Bragança (ÉGLER, 1961). As comunicações eram dificultosas entre os núcleos por via marítima e pela no período “impenetrável mata virgem”, onde a subida ocorria pelo rio Guamá, seguindo até o extremo navegável até Ourém, posteriormente por via terrestre passando por Bragança (ÉGLER, 1961).

Dados os problemas de suprimentos de Belém, oriundos de sua expansão e crescimento urbano, já no século XIX, a via marítima foi utilizada, apesar do perigo e demora por ser um percurso realizado por barcos a vela. Ao longo da costa paraense, foram formados alguns povoamentos entre Bragança e Belém, caracterizando sua função como entreposto de ligação entre a via marítima e o acesso fluvial ao interior, estando como centros nas

desembocados dos rios que desaguam na costa e com economia predominante na pesca, sendo denominados de Região do Salgado (ÉGLER, 1961).

Outros núcleos permanentes como São Miguel e Ourém, são pontos finais de navegação, que foram formados, seguindo a cabeceira do rio Caeté, é uma via natural para chegar até Bragança (ÉGLER, 1961). Além de outras áreas com presença de vegetação com uma precária estrada para Bragança, Castanhal, Igarapé-Açu, Timboteua e Capanema (ÉGLER, 1961).

Nessa perspectiva, Égler (1961) assinala um projeto de desenvolvimento baseado na colonização dessas áreas em terras florestadas, na lógica dos governantes como áreas para um manancial de abastecimento de Belém, supondo que áreas dominadas por floresta teriam solos férteis para o aproveitamento agrícola otimizado. Outra questão histórica foram os exemplos de colonização europeia no sul do Brasil, na tentativa de reprodução pelo governo provincial da época (ÉGLER, 1961).

A idéia de construir uma estrada de ferro como elemento efetivo de penetração surgiu simultaneamente com o propósito de substanciar e garantir êste avanço mediante a ocupação produtiva das áreas atingidas pela mesma, através de uma colonização orientada. A introdução do imigrante precedeu aliás ao início da construção da estrada, pois o primeiro núcleo instalado- a colônia de Benevides- data de 1875. (ÉGLER, 1961, p. 78).

Ackermann (1964) indica que não houveram estudos anteriores a estabelecimento das colônias, visando avaliar a capacidade produtiva e fertilidade dos solos, levando uma concepção “humboldiana” sobre a fertilidade dos solos da Amazônia, idealizando essas áreas como regiões com grande potencial produtivo.

Convergindo em uma proposta de uma estrada de ferro inicialmente entre os anos de 1870 e 1874, contudo, não foram implementadas. Iniciando apenas de junho de 1883, incluindo a construção da via férrea e inserção de 10.000 colonos na região (ÉGLER, 1961). Segundo Ackermann (1964) e Sioli (1960), nesse período a região ostentava uma vegetação preservada.

Benevides, surge como a primeira colônia oficial. “O projeto inicial data de 1848, quando foi feita a concessão das terras. Somente em 1873 foi iniciada a demarcação e preparação dos lotes, chegando os primeiros colonos em 1875. Eram inicialmente 68 imigrantes franceses, italianos e espanhóis.” (ÉGLER, 1961, p. 78). Observar Figura 23.

Figura 23 - Planta da EF Bragança no Séc. XIX.



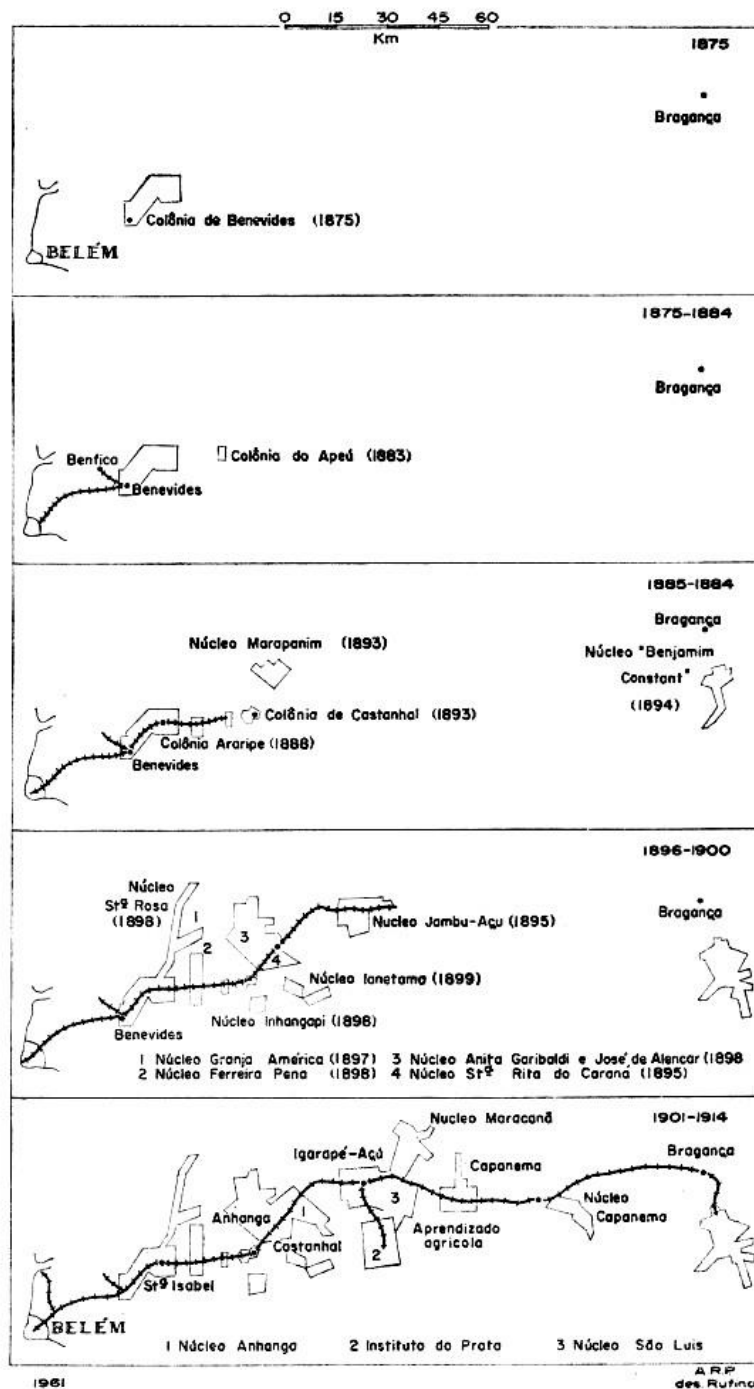
Fonte: Indicador Geral de Viação do Brasil, Paris (1898).

Em 1884, o trecho de 29 quilômetros até a colônia de Benevides (Jancupy) foi construído juntamente com outro trecho até o Apeú em 185, chegando a cerca de 62 quilômetros, posteriormente sendo suspenso pelo governo provincial (ÉGLER, 1961).

Já em 1887, um empreiteiro encaminhou novos trechos chegando a Jambu-Açu, cerca de 105 quilômetros de Belém e até 1907 só foram implementados mais 31 quilômetros. Com nova empreitada o trecho final, até Bragança, foi inaugurado em 1908. Totalizando 25 anos de construção, não alcançando 300 quilômetros de extensão. Ainda houverem ramais para Benevides, Pinheiros e Colônia do Prata, além da estrada-tronco (ÉGLER, 1961).

A colonização se deu predominantemente a partir da península Ibérica, em especial por espanhóis, portugueses e pequena parcela da população francesa, por conta das relações comerciais da época, diferentemente dos alemães e italianos no Sul (ÉGLER, 1961). Contudo, por diversos motivos não houve eficiência na instalação dos europeus, passando por fases de ocupação de nordestinos. Em 1885, quando chegou a estrada de ferro, já se encontrava em fase de decadência o projeto de inserção de estrangeiros. Desse período, dois núcleos se destacam: Castanhal e Igarapé-Açu. Ackermann (1964), indica que aproximadamente 30.000 colonos, dentre os nordestinos e europeus ocuparam a região. Na Figura 24 pode ser observado a evolução da opção com a expansão das colônias e estrada de ferro.

Figura 24 - Implantação das colônias agrícolas (1875-1914) e a Estrada de Ferro de Bragança (1883-1965).



Fonte: Penteado (1968).

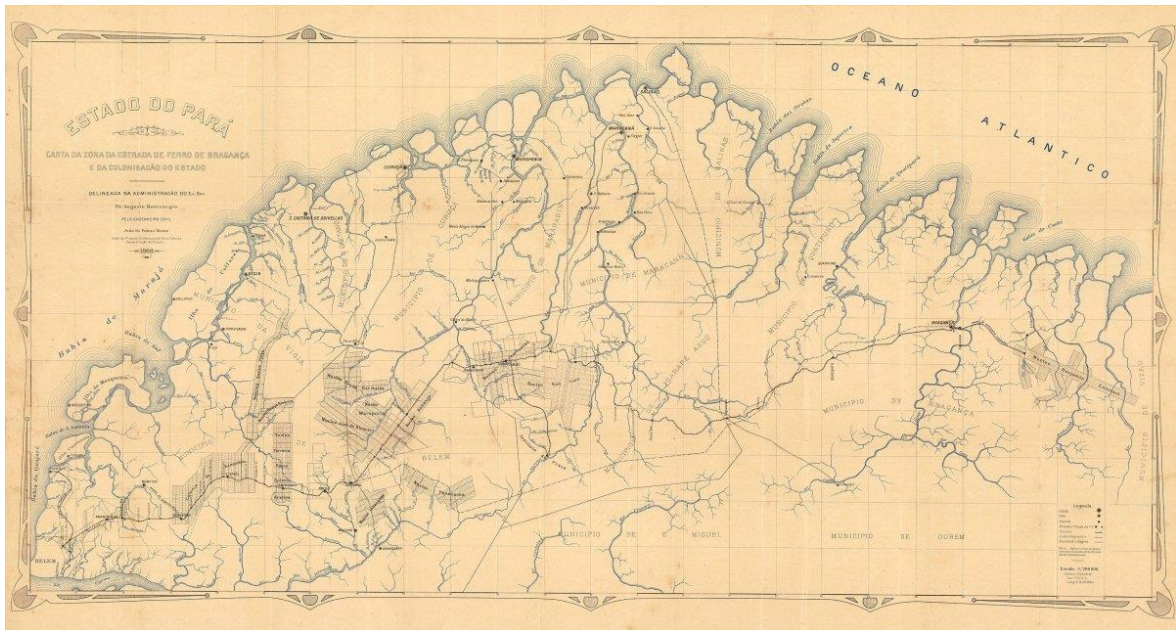
Sioli (1960) completa que a construção da estrada de ferro deveria servir como atrator para colonos agrícolas que consolidariam a ocupação da região. Todavia, apenas após uma grande seca no estado do Ceará em 1915, cerca de 30.000 nordestinos imigraram. A partir disso é que houve uma colonização efetiva com posteriores migrações de nordestinos nas

demais décadas, tendo como exceção apenas da colônia Benjamim Constant, datada do ano de 1894 (ÉGLER, 1961).

A colônia de Benjamim Constant localizada junto a Bragança é de fundação mais antiga, datando de 1894. Através de um ramal de 26 quilômetros de extensão foi ligada a Bragança pela estrada de ferro. A colônia teve um desenvolvimento relativamente importante, tendo diversos engenhos de produção de aguardente em funcionamento, inclusive dois movidos a vapor. Foram introduzidos 956 colonos espanhóis, mas o grosso do povoamento constituiu-se de retirantes nordestinos. (ÉGLER, 1961, p. 81).

Por fim, Égler (1961 apud MONTENEGRO, 19??) destaca que a instalação de migração estrangeira foi um equívoco, tornando-se extremamente oneroso à Província, por contratos não cumpridos. Dentre esses, a falta de adequada administração das colônias, deficiência de apoio oficial e falta de propaganda no exterior como atrativo de imigrantes. Além das condicionantes físicas da região, como baixa fertilidade dos solos, dificuldades climáticas e outros sinistros com a incidências de ‘pragas’ na lavoura (ÉGLER, 1961). Ver Figura 25

Figura 25 - Carta da Estrada de Ferro em 1908.



Fonte: Biblioteca Nacional (2018).

Nas primeiras áreas desmatadas foram inseridas culturas como cereais, milhos e arroz. Inclusive em 1902, uma Estação Experimental de Agricultura foi utilizada para estudos de outras possíveis culturas. Posteriormente, os destaques foram da farinha de mandioca,

rapadura e aguardente, com a instalação de casas de farinhas, engenhos e destilarias. Consolidando com pequenos roçados com plantações de mandioca, milho, feijão, arroz e algodão (ACKERMANN, 1964; ÉGLER, 1961; SIOLI, 1960). Já sendo inclusive considerada a maior área agrícola do Estado (CRUZ, 1955 apud ACKERMANN, 1964).

6.2 Primórdios históricos e projetos de povoamento

Cruz (1955 apud EGLER, 1961) indicam que iniciativas governamentais na instalação de ‘burgos agrícolas’ (Lei nº 583, 21 de junho de 1898), configurando-se como estabelecimentos industriais de agricultura, por meio de concessões do governo, facilitaram a criação e o desenvolvimento de pequenas propriedades, atreladas a uma propriedade central, por meio de contratos de parceria e tabelas de preços. Sendo instalados com certo planejamento em questões de fertilidade, adversidades climáticas e extensão territorial. Muitos desses burgos transformaram-se em colônias e posteriormente foram emancipados (ÉGLER, 1961).

Sioli (1960) destaca que se esperava que o empreendimento da estrada de ferro poderia contribuir com a colonização com transformação de áreas agricultáveis, contribuindo com o desenvolvimento do Estado do Pará. Contudo, apesar dos empreendimentos, o foco ficou na produção de farinha, tendo em vista mandioca que é uma cultura de pouca exigência, ainda a produção de rapadura e aguardente. Apesar do elevado preço dos cereais e da evidente demanda, questões como a exigência de material e fertilizante do solo limitaram sua expansão. Indicado por alguns fatores:

A explicação pode ser encontrada nos seguintes fatos: os cereais em geral são culturas relativamente exigentes em matéria de fertilidade do solo sendo o rendimento das colheitas diretamente proporcional a esta fertilidade. Nas derrubadas recentes a fertilidade potencial do solo, acrescida da incorporação das cinzas resultantes das queimadas, permite a realização destas culturas com rendimento relativamente satisfatório. Este rendimento cai, porém, sensivelmente nas sucessivas colheitas em virtude do rápido esgotamento das reservas naturais do solo. Na área amazônica a experiência tem demonstrado que, em consequência do alto índice de pluviosidade, que contribui para uma lixiviação rápida do solo; das temperaturas médias elevadas, contribuindo para um desgaste acelerado da matéria orgânica, e da já reduzida fertilidade inicial do solo, o esgotamento do mesmo é muito rápido. Geralmente uma colheita, às vezes duas e, quando muito, três são o máximo esperado. (ÉGLER, 1961, p. 83).

Outras culturas como o cacau e, principalmente, o fumo de corda foram produzidos em Bragança, com o cultivo oriundo de práticas já desenvolvidas pelos indígenas. Houveram também tentativas de introdução do algodão, mas por questões climáticas não foi possível

(ÉGLER, 1961).

Aspectos ligados às populações que ocuparam a área também foram levantados, como a constatação que muitos imigrantes estrangeiros não eram agricultores e estavam habituados a outras condições e métodos de trabalho e no caso dos nordestinos, questões climáticas e rendimentos não satisfatórios contribuíram para o abandono das colônias (ÉGLER, 1961).

A borracha também teve o seu papel, atrelada à depressão econômica. Égler (1961) indica que apesar de não sofrer com a crise econômica advinda do encerramento da produção.

Bem ou mal, no entanto, a estrada de ferro mantinha as comunicações e possibilitava o transporte. A existência de imensas áreas devolutas continuava atraindo intrusos e na base de uma agricultura das mais primitivas, a mata continuou sendo destruída em proporções sempre maiores. Não tardou que a zona bragantina viesse a firmar a sua posição de celeiro de Belém. Através da estrada de ferro afluíam para os mercados da capital os produtos da terra, mantendo sempre viva a ilusão de uma fartura sem limites. Esta produção na realidade procedia-se à custa de uma agricultura das mais primitivas em detrimento da cobertura florestal que foi sendo destruída e transformada em capoeiras improdutivas. Não faltavam, entretanto, novas áreas a serem destruídas e de ambos os lados da via férrea a devastação estendeu-se por dezenas de quilômetros de largura. (ÉGLER, 1961, p. 84).

Segundo Égler (1961), as secas periódicas tiveram papel importante nos migrantes oriundos em sua maioria do Nordeste, tendo com contribuição a estrutura fundiária da época e sua facilidade de ocupação e a disponibilidade de matéria-prima para construção das habitações:

As terras devolutas obtidas facilmente e com despesas mínimas, não representavam para estas populações um patrimônio hereditário a conservar para as gerações futuras, mas apenas uma área de trabalho de utilização transitória. A abundância de madeiras facilitava, por outro lado, a construção de casas e demais benfeitorias de tipo rústico, apenas eventualmente substituídas por construções de caráter mais sólido e duradouro (foto 1). (ÉGLER, 1961, p. 84).

Na década de 1950 do século XX, a zona bragantina conFigurava-se como área mais povoado do estado do Pará, onde 1% da área total do Estado comportava 17% da população total. Atrelado principalmente pela facilidade de acesso por conta da estrada de ferro e estrada paralelas. A partir desse contexto de ocupação entra em cena a produção do carvão a lenha, como expoente primordial no contexto regional (ÉGLER, 1961).

Com o correr dos tempos, as áreas de mata virgem foram ficando distanciadas do eixo central da estrada. De ambos os lados da mesma, a paisagem ficou transformada numa imutável e monótona sucessão de capoeira, (foto 2) expressão deprimente da decadência progressiva. As áreas de produção já não ficavam mais justapostas ao

traçado da estrada, mas tinham de ser alcançadas por intermédio de penetrações laterais. Através destas, a produção tinha de ser transportada até as estações de embarque, aumentando mais ainda o ônus que pesava sobre os parques lucros. (ÉGLER, 1961, p. 85).

Outros exemplos de inserção foi a pimenta-do-reino como cultura de rendimento econômico, introduzida pelos japoneses em outra região do Pará e também desenvolvida na área (ACKERMANN, 1964). Utilizada também com base de adubação constantes e próprio da cultura da seringueira, apesar de não ser uma zona produtora de borracha (ÉGLER, 1961). Fibras uacima (*Urena lobata*) e a malva (*Pavonia malacophyla*), utilizadas nas sacarias e cordarias, antes consideradas como plantas daninhas (ACKERMANN, 1964; SIOLI, 1960). Tal situação levou ao abandono de outras culturas de subsistência, tornando-se a atividade principal em alguns municípios, destacando-se na substituição dos gêneros alimentícios por fibras vegetais (SIOLI, 1960).

Sobre a pecuária, Ackermann (1964) indica a criação de pequenos animais, como cabras, ovelhas, porcos e cavalos, talvez pela ausência de pastagens adequadas na região. Já a inserção de gado de forma tradicional era insipiente pois grande parte da carne no período era vinda do Maranhão.

Figura 26 - Porto de trapiche na cidade de Bragança, 1950.



Fonte: IBGE (2018)

A produção do fumo em Bragança, adubação do terreno por meio de ‘currais móveis’, onde o gado fica confinado apenas durante a noite. Gerando um binômio associando o manejo do gado e produção de fumo, próximo da planície litorânea (ÉGLER, 1961).

Dessa forma, a exploração da região se deu historicamente por métodos predatórios, por meio do desmatamento, plantio de roça, colheita por cerca de 3 ou 5 anos e posterior abandono das áreas derrubadas, que após o abandono e solos esgotados, transformaram-se em áreas ocupadas por capoeira, buscando-se na sequência novas áreas com mata nativa (ACKERMANN, 1964; SIOLI, 1960). Ackermann (1964, pág. 16), destaca que “a indústria madeireira, antes de grande importância, quase não existe mais por falta de matéria-prima”. As florestas secundárias levaram de 8 a 10 anos para de se desenvolver, após o abandono e desenvolvimento da capoeira. Posteriormente, com sua queima e cinzas foram utilizados os solos novamente por cerca de 2 anos (SIOLI, 1960).

Sioli (1960) denomina essa lógica como sistema vigente na zona bragantina como “devastação e destruição da natureza, um roubo da riqueza natural do Brasil por causa de um lucro momentâneo”. Alertando sobre o uso irracional dos recursos naturais, indicando a necessidade de métodos de utilização agrícolas adequados às condições dos solos e clima, baseado em estudos científicos.

A estrada de ferro foi por muito tempo o principal eixo de escoamento da produção agrícola de Bragança (ACKERMANN, 1964). Posteriormente, a abertura das estradas de rodagem, associados aos projetos de instalação de colônias e núcleos agrícolas, todos ligados diretamente à estrada de ferro Belém-Bragança.

Sioli (1960) adverte que nos anos 1960 pouquíssimas áreas com a cobertura vegetal original restaram, onde anteriormente toda a área de terra firme era ocupada originalmente por floresta alta e intocada. Capoeiras predominam na paisagem de toda a Região bragantina, com extensos terrenos abandonados após exploração agrícola extensiva, apresentando já propriedade de caráter especulativo e de atividades recreativas. Loteamento e terrenos são citados na década de 1960 (ÉGLER, 1961), sendo possível verificar alguns desses indícios na Figura 27.

Figura 27 - Trecho de fotografia aérea de 1946 nas proximidades de Bragança, levantado pelo *United State Air Force* (USAF).



Fonte: Ministério da Aeronáutica, Comando Geral de Apoio (2018).

O desmatamento contribuiu para o processo de laterização e empobrecimentos dos solos, influenciando diretamente no abandono de atividades de colonização da região. A transformação da região é uma imensa capoeira, ou seja, “A região, outrora coberta por densa mata virgem, da verdadeira Hiléia Amazônica, hoje em dia se apresenta ao viajante como uma imensa capoeira, testemunho da ação destruidora do homem, sob o pretexto de colonização” (ACKERMANN, 1964).

Essas capoeiras eram derrubadas e queimadas para novos plantios sucessivos e “tornaram-se as terras exaustas, até chegar ao ponto atual onde a região está se transformando passo a passo, num semideserto, formando-se carrascos como no Nordeste” (ACKERMANN, 1964).”

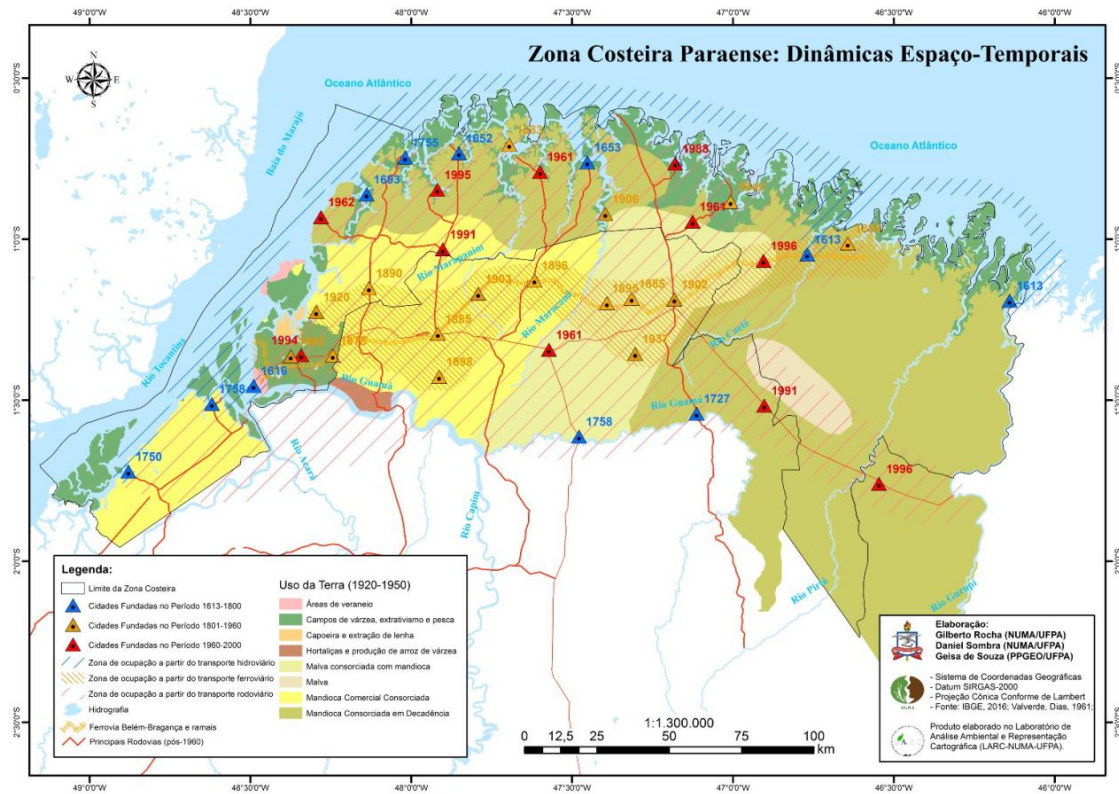
Sioli (1960) indica que na década de 1960 cerca 90% da região era recoberta por capoeiras que ocupam plantações abandonadas. Para ele, o projeto de colonização executado em cerca de 50 anos em derrubar, queimar, sem considerar o valor da mata original, sendo uma das áreas de maior riqueza da Amazônia brasileira era inadequado.

Uma das principais [lições de Sioli] diz respeito à necessidade de se levar em conta padrões de povoamento da região e usos da floresta praticados pelos próprios habitantes”. “As ditas políticas de “desenvolvimento” devem ser guiadas privilegiando aquilo que é defendido pelo próprio amazônida e não [por] interesses e visões de mundo [...] guiados por pressupostos materialistas que visam meramente o lucro e a exploração dos recursos. (SILVA, 2020)

Rocha (2008) discutiu de forma pormenorizada e especializou uma parte dessa

dinâmica como espaço temporal entre 1920 e 1950, conforme ilustrado na Figura 28, contextualizando o seu papel na formação territorial e nas modificações espaciais ocorridas na região no último século.

Figura 28 - Dinâmica espaço temporal entre 1920 e 1950 da Região Bragantina do Pará.



Fonte: ROCHA (2018)

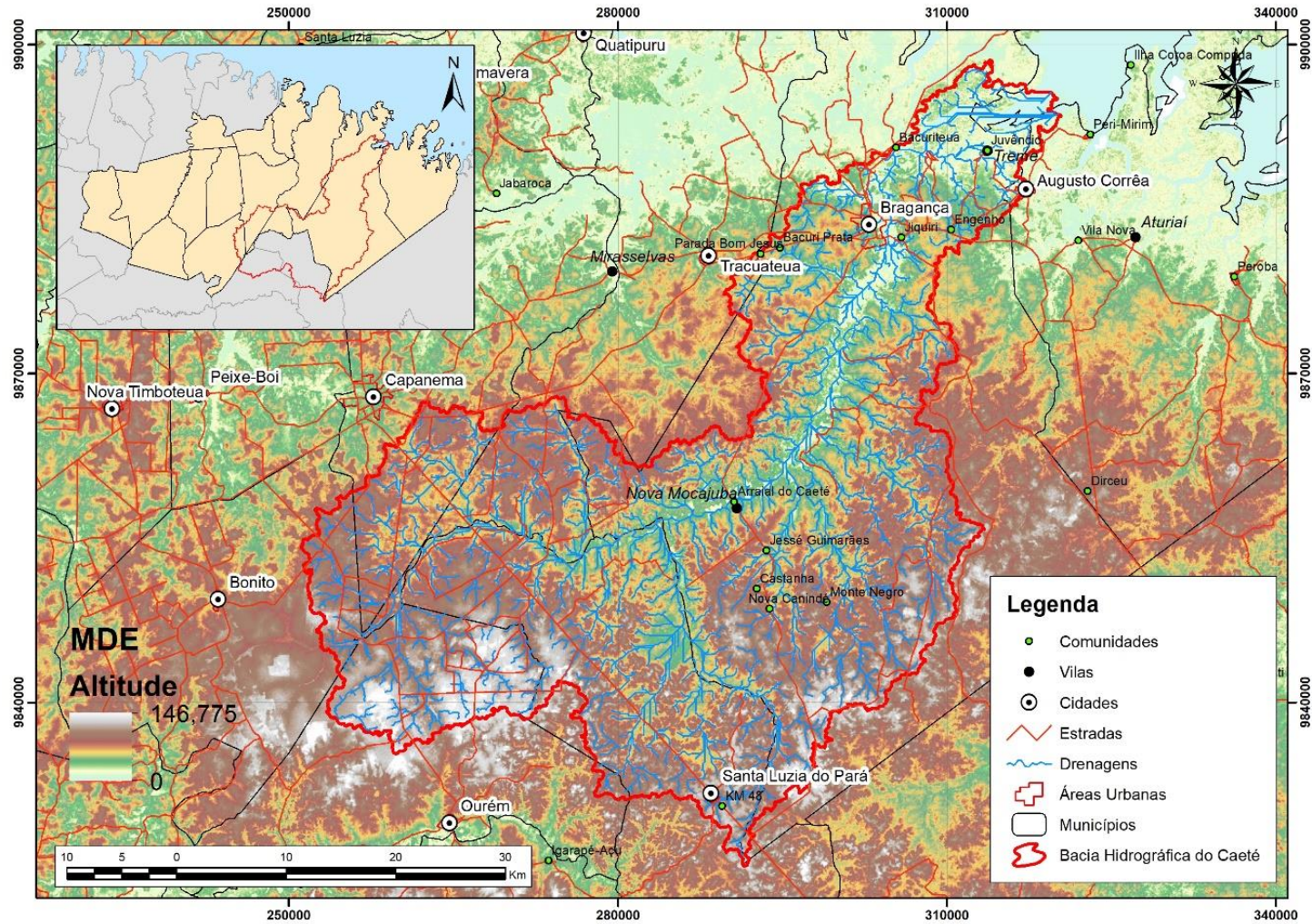
Por fim, historicamente a Região Bragantina foi impactada por diferentes projetos de ocupação e as mudanças de uso da terra contribuíram para alterações significativas na dinâmica da paisagem, com destaque para a inserção da estrada de ferro Belém-Bragança e o projeto de colonização agrícola, impactando principalmente na supressão da vegetação nativa original, como descrito por diferentes autores (ACKERMANN, 1964; ÉGLER, 1961; SIOLI, 1984; ROCHA, 2018).

7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAETÉ

A Bacia Hidrográfica do Rio Caeté está inserida na Região Bragantina, no contexto da Macro Bacia do Atlântico Norte, setor Nordeste do Estado do Pará, situada a cerca de 213 km da capital Belém. Apresenta uma dinâmica condicionada pelas interações das características continentais e oceanográficas da Amazônia Oriental, sendo um reflexo das diversas formas de uso e ocupação desenvolvidos ao longo de décadas de exploração da região pela agropecuária e mineração. Compreendendo atualmente a área territorial dos municípios de Bragança, Tracuateua, Augusto Corrêa, Capanema, Bonito e Santa Luzia do Pará, como pode ser visualizado na Figura 29.

Diversos estudos foram realizados caracterizando as condições ambientais da bacia hidrográfica e sua ocupação histórica (GORAYEB, 2008; GUIMARÃE *et al.*, 2009; GORAYEB *et al.*, 2009; GORAYEB *et al.*, 2011).

Figura 29 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Caeté



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

No mapa, Figura 29, é possível observar a expressão espacial da bacia e seu alto, médio e baixo curso.

7.1 Zona Costeira Bragantina

Segundo Brasil (1983), a Zona Bragantina é constituída pelo Planalto Rebaixado da Amazônia. Nas proximidades do litoral apresenta-se drenagem constituída por vales inundados pela transgressão marinha recente com entulhamento de materiais finos nas várzeas. As suas rias são constituídas por feições geomorfológicas oriundas das oscilações de marés, originando formas recordas no litoral.

Do ponto de vista geológico, a região apresenta sedimentos quaternários (Holocênico / Pleistocênico), com ambientes inundáveis de sedimentação recente; enquanto os terraços são correlativos ao Período Pleistoceno Superior, ou seja, Quaternário Antigo (BRASIL, 1973).

O quadro geomorfológico apresenta diferentes feições onde sua formação e modelagem estão condicionadas aos processos morfodinâmicos continentais, estuarinos e oceânicos. Com estruturas denominadas de planície amazônica, litoral de rias e manguezais e planícies e terraços costeiros (BRASIL, 1973; GORAYEB, 2008).

Ab'Saber (2006), caracteriza o litoral Nordeste do Pará que está inserido na região denominado de Litoral de Rias e Vales Afogados, apresentado como uma morfologia de costa única no contexto do litoral brasileiro, constituído por formação de praias lamosas, manguezais, dunas, restingas e pequenas falésias, constituindo uma costa recortada na proximidade de terras altas. A costa baixa, é recortada, com penetração de manguezais pelos Vales Afogados. São conhecidas também por configurarem os chamados falsos estuários (ALBA, 1972).

A Zona Costeira Bragantina é assinalada por uma complexidade de formas e de interpretação sobre as mesmas. Tradicionalmente, é caracterizada como litoral de rias, apresentando os denominados vales fluviais afogados ou reentrâncias, que são tipologias de estuários invertidos, formados pela oscilação das macromarés que erodem a margem do continente, formando uma série de reentrâncias (AB'SABER, 2000, 2004). Alguns autores denominam de falsas-rias (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2000), por suas características climáticas e oceanográficas locais e em até em litoral com presença de penínsulas (COHEN, 2005).

Abriga uma importante biodiversidade, por configurar-se como ambiente de

transição entre o continente, oceano e atmosfera. Os bosques de manguezais adentram cerca de 30km na Região Bragantina, recobrando cerca de 15% da área dos municípios (Fonte?). Possuindo funções ecológicas importantes e contribuindo para a manutenção da dinâmica local.

A dinâmica costeira e os efeitos da erosão e progradação do litoral do Pará vem sendo estudadas por diferentes autores nas últimas décadas (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2000), com diversos trabalhos consolidando um panorama sobre a temática, elencando diversas teorias e evidências sobre as transformações ocorridas e suas consequências nas atividades antrópicas.

Diversos fatores influenciam a dinâmica costeira, como variações do nível do mar, movimentos tectônicos, ação antrópica, balanço sedimentar (EL-ROBRINI *et al.*, 2006), sendo estes os agentes da progradação e erosão em diferentes pontos da costa. Os processos oceanográficos dominam a dinâmica da região, por meio da modelagem da costa bragantina, por meio de macromarés, um dos principais indicadores dessas oscilações são os manguezais (SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Condicionado por fatores oceanográficos, o ambiente estuarino apresenta salinidade da água com condições de macro-marés e fortes correntes e características de moderadas ondas, com elevada energia em seu setor inferior e fatores que são influenciados por outros fatores climatológicos como ventos, altas precipitação pluviométrica, apresentando chuvas abundantes de dezembro a maio, onde representa 70% do total anual e, conseqüentemente, influenciando a intensidade do intemperismo e da erosão nas praias locais (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; LIMA *et al.*, 2000; SOUZA FILHO *et al.*, 2000).

Abreu (2008) realizou uma modelagem pioneira no estuário do rio Caeté, alertando a complexidade da dinâmica estuarina da região, por conta da sua extensão, bancos de areias e manguezais. Foram caracterizadas as influências de macromarés semi-diurnas com amplitude média de 5,6 m, apresentando correntes com 0,46 m/s de velocidade média e presença de ventos alísios com direção preferencial de NE com 7,5 m/s, sendo importantes variáveis no comportamento hidrodinâmico do estuário.

8 RESULTADOS da pesquisa

8.1 Eventos Extremos no contexto da bacia

8.1.1 Caracterização climática

8.1.2 Climatologia: Temperatura, precipitação, intensidade e direção do vento

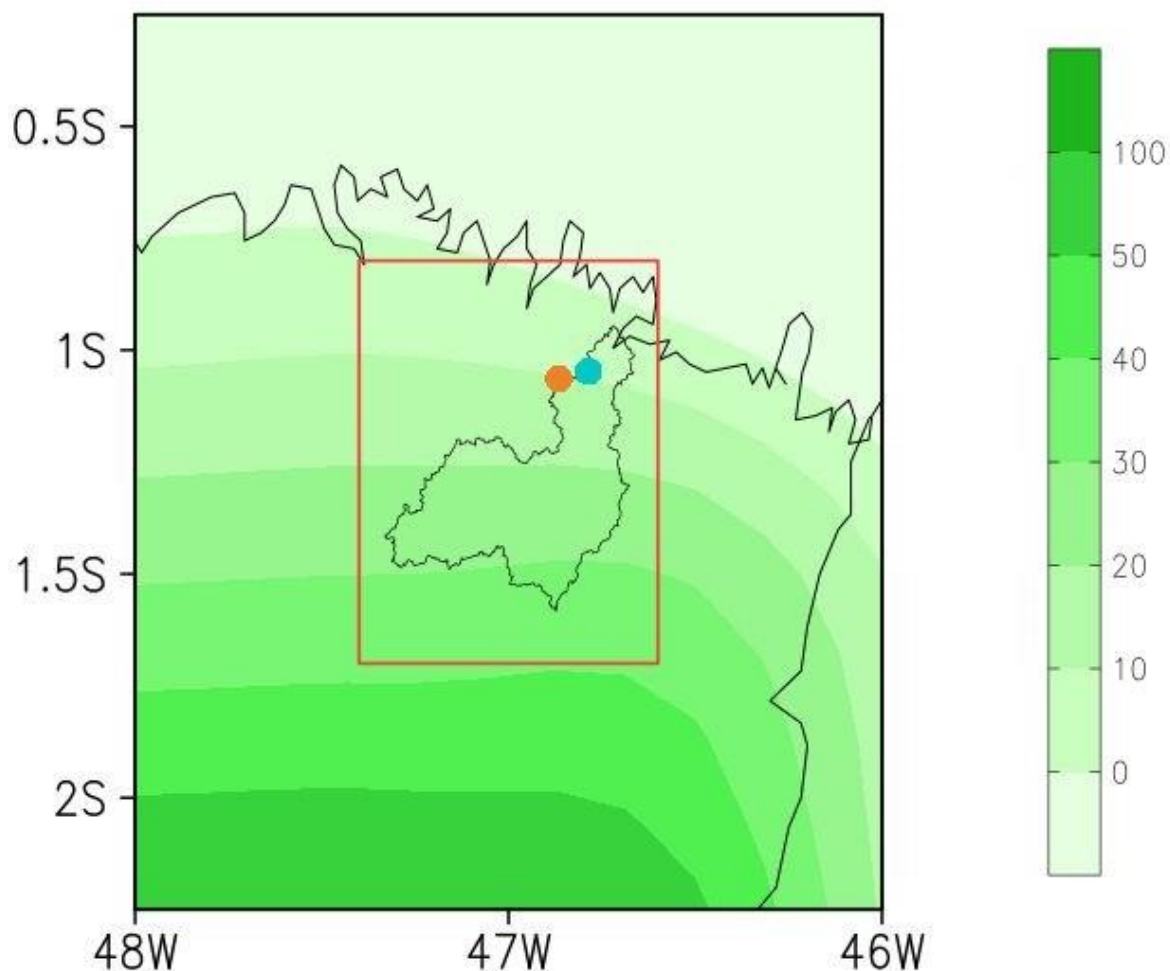
Utilizou-se médias sazonais (DJF - verão, MAM - outono, JJA - inverno e SON - primavera) para a análise dos campos de temperatura (Figura 26) e precipitação (Figura 27) e gráficos de intensidade e direção do vento (Figura 28), pois representam períodos de 3 meses condizentes com as estações do ano permitindo uma análise mais detalhada do que quando se analisa apenas as médias anuais, que podem suavizar variações. Para a obtenção das médias sazonais utilizou-se as médias mensais dos dados do ERA-Interim e CPC/NCEP de 1979 a 2018.

8.1.3 Climograma

Utilizou-se um retângulo envolvente com latitudes entre 0.8S e 1.7S e longitudes entre 46.6W e 47.4W contendo a Bacia do rio Caeté, delimitado em vermelho na Figura 25, para a qual foi feita a média espacial de precipitação e temperatura para a elaboração do climograma abrangendo toda a extensão da Bacia utilizando-se os dados de 1979 a 2018 do ERA-Interim e CPC/NCEP.

Também foi obtido o climograma utilizando-se as médias mensais de todo o período de dados da Estação Convencional de Tracuateua (1973 a 2019), marcada em azul na Figura 30.

Figura 30 – Hipometria (m) interpolada da Região Nordeste do Estado do Pará.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A caixa representa a região definida para realização do estudo climatológico da Bacia do rio Caeté (entre 0.8S - 1.7S e 46.6W - 47.4W). O ponto laranja marca a localização da estação meteorológica convencional de Tracuateua e o ponto azul marca a localização da estação meteorológica automática de Bragança.

8.1.4 Análise decadal

Para detectar possíveis mudanças nas variáveis decorrentes da mudança da cobertura do solo, obteve-se médias mensais de temperatura e precipitação do conjunto de dados nos períodos de 1973 a 1978 (apenas estação de Tracuateua), 1979 a 1988, 1989 a 1998, 1999 a 2008 e 2009 a 2018. A análise foi feita partindo de climogramas para cada um desses períodos.

8.1.5 Série Temporal

Utilizando-se a média anual de temperatura e a precipitação total anual para cada ano dos dados da estação de Tracuateua obteve-se gráficos compreendendo todo o período de 1973 a 2019.

8.2 Extremos Climáticos

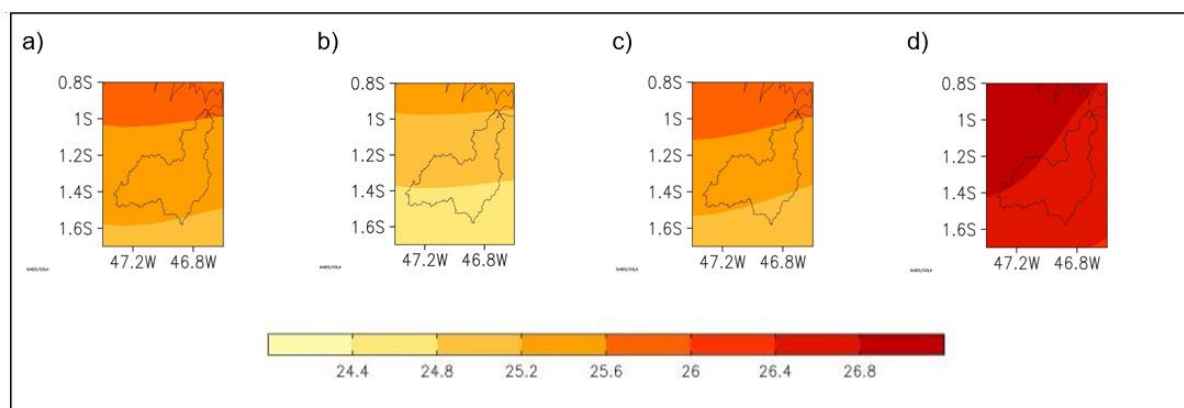
De acordo com Collins *et al.* (2019), extremos climáticos são condições raras de uma certa variável que podem ser definidas com valores iguais ou menores ao décimo percentil ou maiores ou iguais ao nonagésimo percentil desta em uma série de dados.

Portanto, para determinar os extremos secos e chuvosos, utilizou-se o método dos percentis. Para isso, os dados de totais anuais de precipitação da estação convencional de Tracuateua foram organizados em ordem crescente permitindo identificar os anos que representam os extremos secos, percentil 10 (p10), e extremos chuvosos, percentil 90 (p90). Partindo do climograma da estação de Tracuateua, os períodos de estação seca e chuvosa foram determinados permitindo analisar os extremos de precipitação para esses meses e; assim, entender melhor como a precipitação ao longo do ano influencia nos anos de extremos secos e chuvosos.

8.3 Campos de Temperatura e precipitação

Na Figura 31, a seguir, estão representadas as médias sazonais de temperaturas obtidas através dos dados do ERA-Interim.

Figura 31 - Campos de médias sazonais de temperatura a 2 metros ($^{\circ}\text{C}$) - a) DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); b) MAM (Março, Abril e Maio); c) JJA (Junho, Julho e Agosto); d) SON (Setembro, Outubro e Novembro).

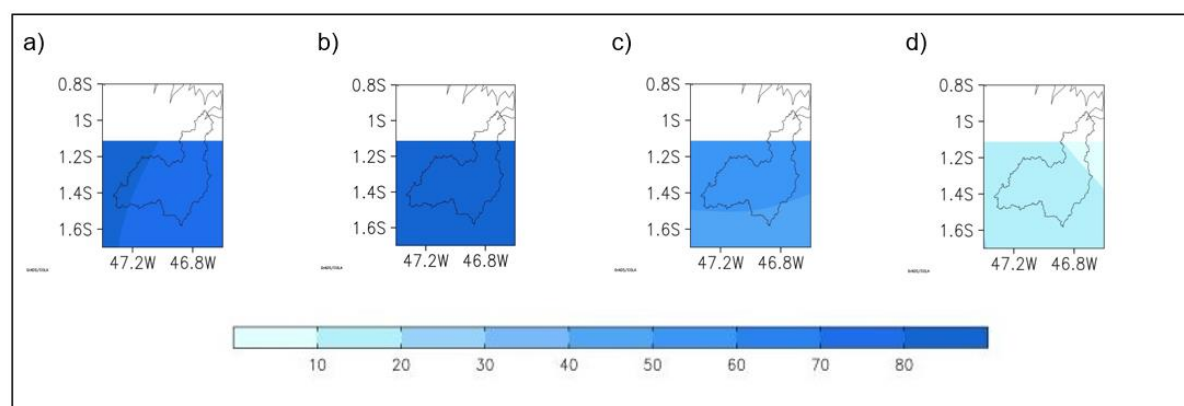


Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Em todos os campos é possível notar um fraco gradiente de temperatura em direção ao litoral, ou seja, mais ao Sul encontram-se temperaturas menores do que ao Norte. No entanto, essa variação é muito pequena, entre $0,2^{\circ}\text{C}$ e $0,6^{\circ}\text{C}$. Como a região é muito pequena e o terreno não é irregular, o padrão apresentado é condizente com o esperado.

Observa-se também que a estação mais quente é a primavera e a mais amena o outono, mas a amplitude térmica é muito pequena, variando em torno de 2°C . A variação de temperatura está relacionada com a distribuição da precipitação ao longo do ano, como observado na Figura 32.

Figura 32 - Campos de médias sazonais de precipitação (mm/mês) - a) DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro); b) MAM (Março, Abril e Maio); c) JJA (Junho, Julho e Agosto); d) SON (Setembro, Outubro e Novembro).



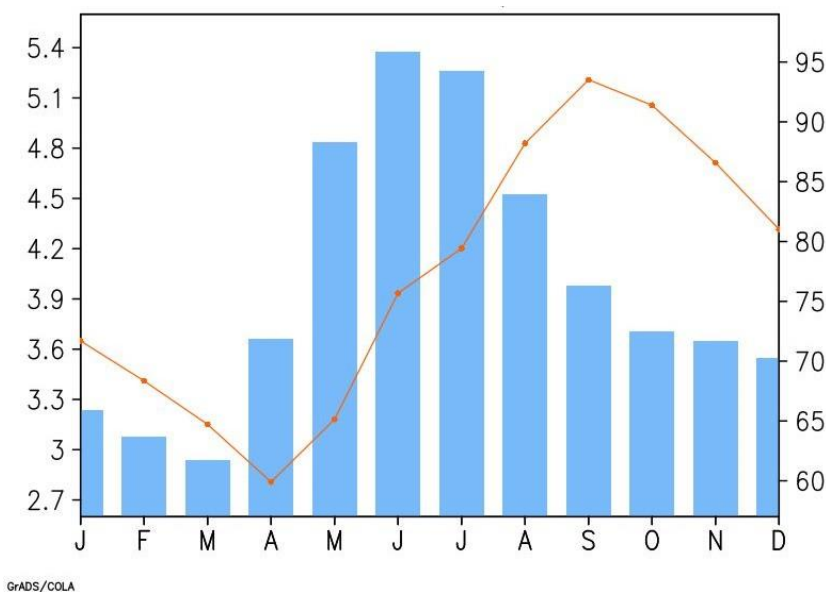
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A distribuição espacial da precipitação também é bem regular, apresentando diferenças em torno de 10 mm dentro de cada campo, exceto no outono, onde a distribuição mais regular pode ser explicada pela atuação de um sistema de grande escala na região nesta época do ano, a ZCIT.

8.4 Gráfico de intensidade e direção do vento em baixos, médios e altos níveis da atmosfera.

Na Figura 33, a seguir, podemos observar a variação da intensidade e da direção do vento ao longo do ano na Bacia do rio Caeté. As barras azuis indicam a direção do vento em graus (escala à direita) e a linha laranja indica a intensidade do vento em m/s (escala à esquerda).

Figura 33 - Gráfico de médias mensais de Intensidade (Linha - m/s) e Direção (Barras - °) do vento em superfície (1000 hPa).



GRADS/COLA

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O vento em superfície, ao longo do ano, varia de forma semelhante à precipitação e temperatura, sendo mais intenso nos meses de primavera e menos intenso nos meses de outono, conforme a atuação da ZCIT. Observa-se também que a direção do vento é predominantemente de nordeste ao longo do ano, sendo mais próximo de leste entre os meses de maio e julho.

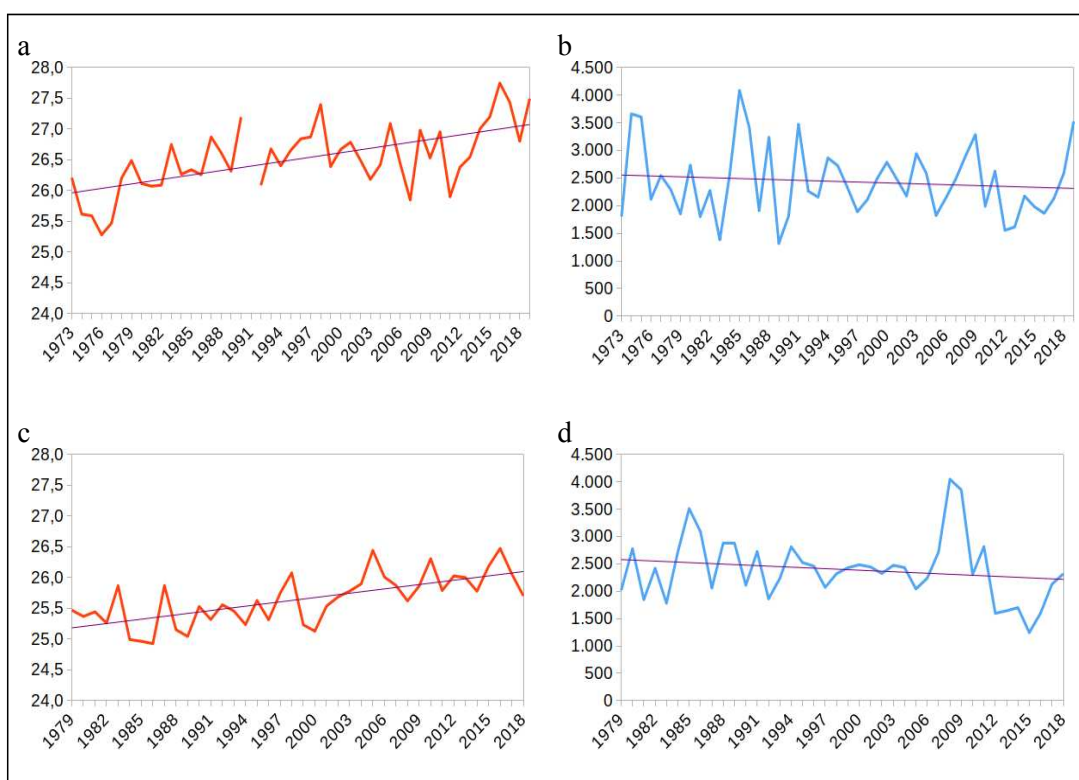
De forma geral, o clima da região é regido, principalmente, pela atuação da ZCIT. É clara a influência deste sistema na região pois apesar da pouca variação na temperatura, por

exemplo, os meses de menor temperatura, maior precipitação e menor intensidade do vento coincidem com os meses de sua maior atividade de acordo com Uvo (1989).

8.5 Séries Temporais e climogramas

Para analisar a evolução da temperatura e da precipitação ao longo de todo o período do conjunto de dados, obteve-se a Figura 34 a seguir:

Figura 34 - Séries temporais do conjunto de dados, com linha de tendência em roxo - a) Tracuateua - Médias anuais de temperatura a 2 metros (°C); b) Tracuateua - Total anual de precipitação (mm). c) ERA-Interim - Médias anuais de temperatura a 2 metros (°C); d) CPC/NCEP - Total anual de precipitação (mm).



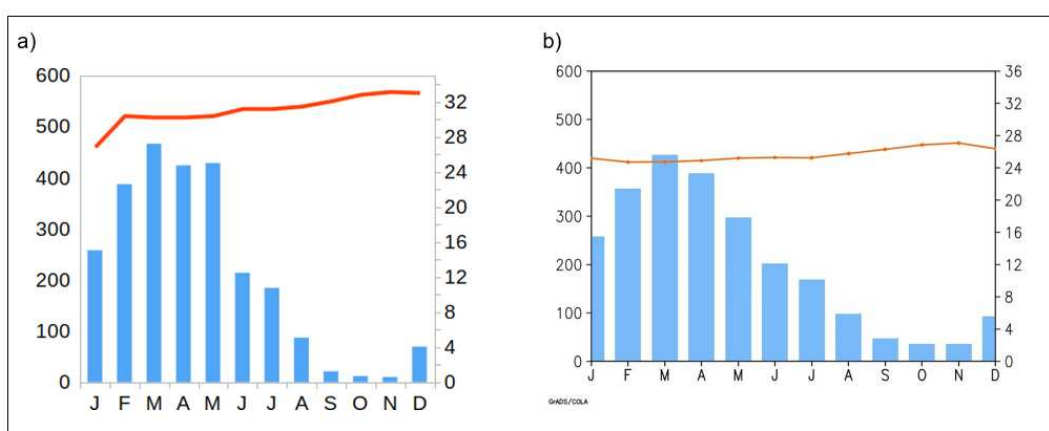
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O intervalo vazio na Figura 1a é referente ao ano de 1991 quando não foram realizadas quaisquer medidas de temperatura máxima na estação de Tracuateua, impossibilitando o cálculo da temperatura média anual daquele ano. De acordo com os gráficos, há um claro aumento de temperatura ao longo do período de 1973 a 2018. E, no mesmo período, houve diminuição na precipitação como mostra a linha de tendência em ambos os gráficos de total anual de precipitação.

8.6 Climogramas

A utilização de climograma é uma forma simples e rápida de entender o ciclo anual de temperatura e precipitação de uma determinada região ou estação meteorológica. Nos dois climogramas a seguir compara-se a climatologia obtida por meio dos dados da estação convencional de Tracuateua (Figura 35a) e com os dados do ERA-Interim+CPC (Figura 35b).

Figura 35 - Climograma com médias mensais de Temperatura a 2 metros (Linha - °C) e Precipitação (Barras - mm) - a) Estação convencional de Tracuateua; b) ERA-Interim + CPC/NCEP.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Novamente observamos a influência da ZCIT no clima da região da Bacia do rio Caeté, o padrão de precipitação ao longo do ano deixa nítida a existência de uma estação seca com chuvas abaixo dos 50 mm coincidente com o deslocamento da ZCIT para o norte. Por isso também, observa-se as maiores temperaturas durante esse período do ano. Além disso, a pouca amplitude térmica observada na região fica evidente em ambos os gráficos, sendo mais acentuada nos dados da estação. A temperatura se mantém acima dos 24°C o ano todo. Portanto, de acordo com as classificações de Köppen e Köppen-Geiger, o clima pode ser caracterizado como Am (clima tropical de monção, com breve estação seca e chuvas intensas durante o resto do ano).

Nas tabelas 1 e 2 a seguir pode-se comparar os valores de temperatura e precipitação, respectivamente, entre a estação Tracuateua (TRAC) e o conjunto de dados do ERA-Interim e CPC/NCEP.

Tabela 1- Temperatura (°C)

Dado	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ERA	25,2	24,7	24,7	24,9	25,3	25,3	25,2	25,8	26,3	26,8	27,2	26,3
TRAC	26,9	30,4	30,3	30,2	30,4	31,2	31,2	31,5	32,1	32,8	33,2	33,0
Variância	0.72	8,12	7,84	7,02	6,50	8,70	9,00	8,12	8,41	9,00	9,00	11,2
D.P.	1,20	4.03	3.96	3.75	3,61	4,17	4,24	4,03	4,10	4,24	4,24	4,74

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com a tabela 1, a reanálise ERA-Interim representa as temperaturas médias climatológicas sempre com valores abaixo do observado na estação de Tracuateua, a menor diferença ocorre em janeiro (1,7 °C) e a maior diferença ocorre em julho (6 °C). A variância e o desvio padrão são menores nos meses com as menores temperaturas (janeiro a maio).

Tabela 2 - Precipitação (mm)

Dado	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CPC	258	357	427	388	297	202	168	98	47	35	36	92
TRAC	258	387	466	424	429	214	184	87	21	12	10	69
Var.	00,0	225	380	324	4356	36,0	64,0	30,3	169	132	169	132
D.P.	00,0	21,2	27,6	25,5	93,3	8,5	11,3	7,78	18,3	16,2	18,3	16,2

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com a tabela 2, a análise CPC/NCEP representa os totais de precipitação médios climatológicos com valores abaixo do

observado nos meses mais chuvosos e valores acima do observado nos meses secos. Sendo os maiores valores de variância e desvio padrão nos meses mais chuvosos (fevereiro a maio).

Nas tabelas 3 e 4 a seguir pode-se comparar os valores de temperatura e precipitação, respectivamente, entre as estações de Bragança (BRAG) e de Tracuateua (TRAC).

Tabela 3 - Temperatura (°C) comparação entre estações.

Dado	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BRAG	25,2	25,4	27,0	27,4	26,1	25,6	27,3	27,8	28,3	28,8	28,9	28,7
TRAC	26,9	30,4	30,3	30,2	30,4	31,2	31,2	31,5	32,1	32,8	33,2	33,0
Var	1,3	12,4	5,4	4,1	9,1	16,0	7,4	7,0	7,1	8,1	8,9	9,4
D.P.	1,2	3,5	2,3	2,0	3,0	4,0	2,7	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com a tabela 3, os dados das duas estações seguem o mesmo padrão; porém, há variações nos valores ao longo do ano. A menor diferença ocorre em janeiro (1,7°C) e a maior diferença ocorre em julho (5,6 °C). Assim, a variância e o desvio padrão são menores nos meses com as menores temperaturas, janeiro a maio, exceto em fevereiro.

Tabela 4 - Precipitação (mm) comparação entre estações.

Dado	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
BRAG	102	239	295	318	301	157	125	43	6	2	5	23
TRAC	188	346	374	445	383	209	200	71	22	12	15	83
Var.	3753	5723	3075	8039	3372	1342	2810	402	128	49	49	1820
D.P.	61,3	75,7	55,5	89,7	58,1	36,6	53,0	20,1	11,3	7,0	7,0	42,7

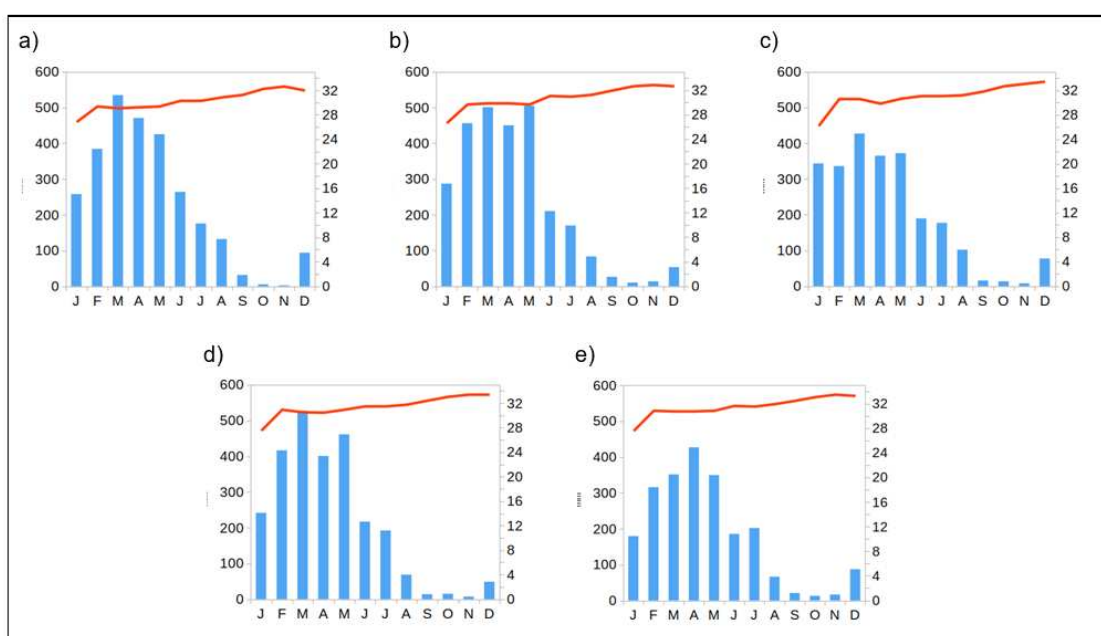
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

De acordo com a tabela 4, os dados de precipitação das duas estações também seguem o mesmo padrão; porém, há variações acentuadas nos valores de variância de desvio padrão ao longo do ano. Nos meses mais chuvosos ocorrem às maiores diferenças. Os dados das estações são pontuais, por isso essa divergência ocorre, pois, a chuva, diferentemente da temperatura, não é uma variável uniformemente distribuída espacialmente.

8.6.1 Climogramas - Estação de Tracuateua (Décadas)

Os climogramas representados na Figura 36 foram obtidos a partir dos dados da estação convencional de Tracuateua divididos em décadas. Analisa-se que a temperatura média em cada década possui padrões muito similares de variação ao longo do ano. No entanto, é possível perceber um leve aumento de temperatura de acordo com a evolução das décadas, condizente com as séries temporais descritas na Figura 36a e 36c.

Figura 36 - Climogramas da Bacia do rio Caeté com precipitação (mm) e Temperatura (°C) - a) 1973 a 1978; b) 1979 a 1988; c) 1989 a 1998; d) 1999 a 2008; e) 2009 a 2018.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

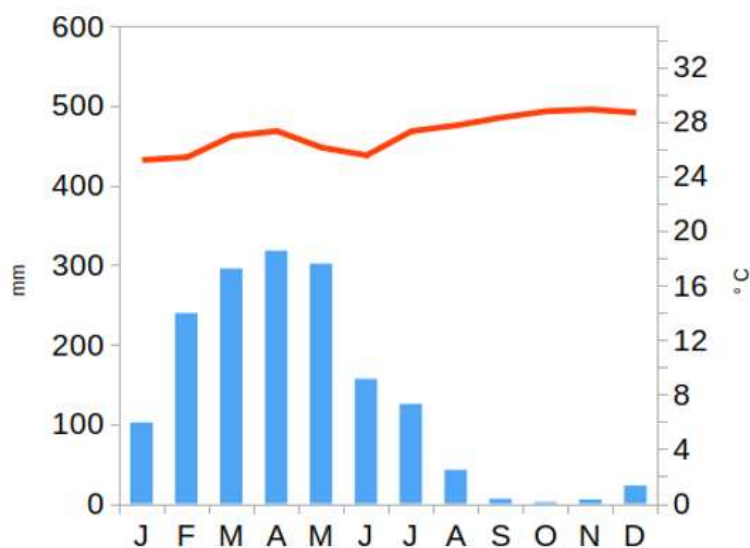
Para a precipitação, é evidente uma estação seca no ano em todas as décadas. Além disso, o volume de precipitação nos meses mais chuvosos diminui ao longo do período; porém, a estação seca possui maiores volumes nas décadas mais recentes.

8.6.2 Climograma da Estação de Bragança

O climograma representado na Figura 37 foi obtido por meio do período de dados de 2009 a 2019 para a estação de Bragança. A temperatura não sofre grandes variações ao decorrer do ano e nota-se que o padrão de estação seca volta a aparecer entre agosto e dezembro, com o

mês mais chuvoso sendo abril.

Figura 37 - Climograma com médias mensais de Temperatura a 2 metros (Linha - °C) e Precipitação (Barras - mm) do período de 2009 a 2019.



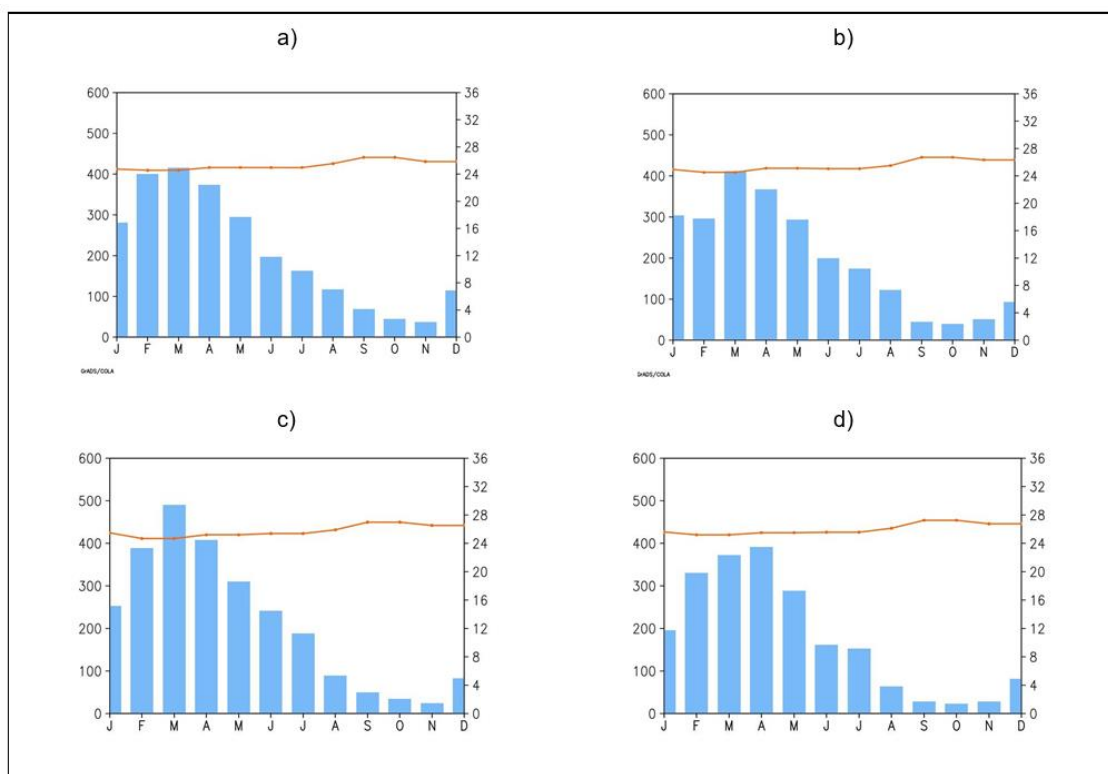
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

É válido destacar que neste conjunto de dados não haviam os dados de precipitação de 2011.

8.6.3 Climogramas - CPC+ERA (Décadas)

Os climogramas da Figura 38 representam uma análise feita dos dados de temperatura e de precipitação do Era-Interim+CPC, e divididos em décadas. Observa-se que a temperatura média foi crescente com o passar das décadas.

Figura 38 - Climogramas da Bacia do rio Caeté com precipitação (mm) e Temperatura (°C) - a) 1979 a 1988; b) 1989 a 1998; c) 1999 a 2008; d) 2009 a 2018.

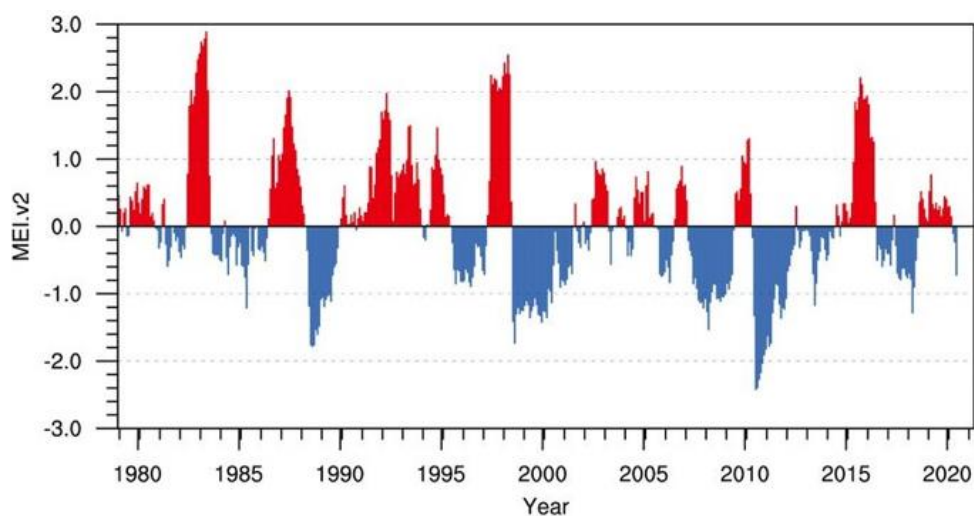


Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Para a precipitação é possível observar uma estação mais seca em todas as décadas, e o volume de precipitação dos meses mais chuvosos tem diminuído de 2009-2018 em comparação com as décadas anteriores.

Desse modo, a cada década que passa, de acordo com os climogramas das Figuras 36 e 37, as médias de temperatura aumentam e a quantidade de precipitação diminui, tornando essa localidade mais seca. Dentre as décadas em análise, nas Figuras 38d e 38c (1999 a 2008) há um aumento da precipitação, isso se deve ao fato da maior frequência do fenômeno La Niña, responsável por aumentar a precipitação no Norte e Nordeste do Brasil (MARENGO; OLIVEIRA, 2014), em comparação com as décadas anteriores, de acordo com a Figura 33.

Figura 39 - Série temporal do Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2).

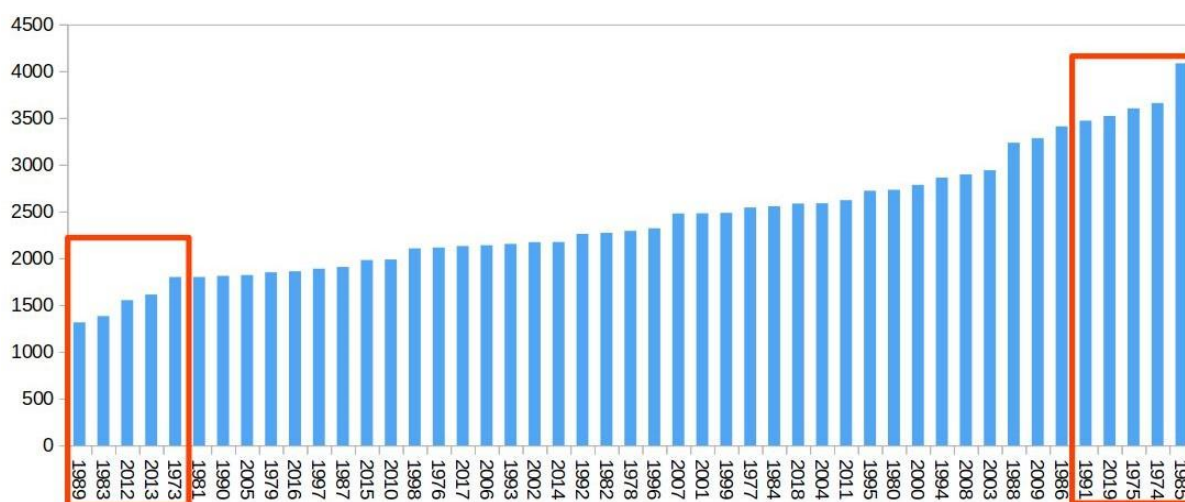


Fonte: PSL/NOAA.

8.6.4 Extremos Climáticos

Com os dados de total anual de precipitação da estação convencional de Tracuateua, organizados por ordem crescente, obteve-se o seguinte gráfico (Figura 40) onde estão destacados os anos de extremos seco e chuvoso, p10 e o p90, respectivamente.

Figura 40 - Totais anuais de precipitação da estação meteorológica de Tracuateua.



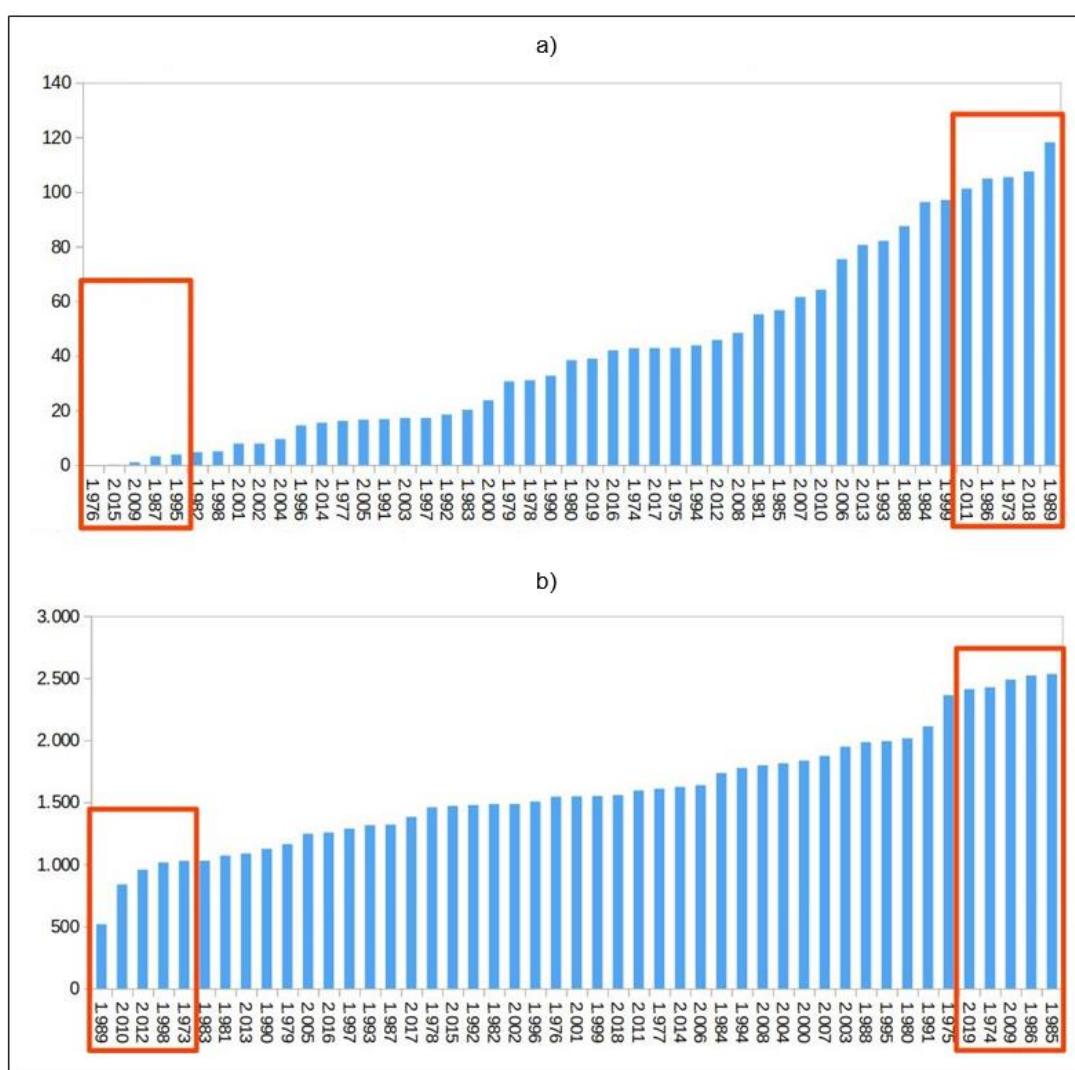
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

As caixas representam o percentil 10 e o percentil 90 indicando os anos de extremo seco e extremo chuvoso.

De acordo com o gráfico, os anos de extremos secos são 1973, 1983, 1989, 2012 e

2013 e os anos de extremos chuvosos são 1974, 1975, 1985, 1991 e 2019. Para uma análise mais profunda, definiu-se duas estações, uma seca (SON) e uma chuvosa (FMAM) de acordo com o climograma da Figura 8a para a elaboração dos seguintes gráficos (Figura 41).

Figura 41 - Totais anuais de precipitação da estação meteorológica de Tracuateua nos meses da estação: a) seca (SON); b) chuvosa (FMAM). As caixas representam o percentil 10 e o percentil 90 indicando os anos de extremo seco e extremo chuvoso.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Os anos de extremo seco na estação seca são 1976, 1987, 1995, 2009, 2015 e na estação chuvosa são 1973, 1989, 1998, 2010, 2012. E os anos de extremo chuvosos na estação seca são 1973, 1986, 1989, 2011 e 2018 e na estação chuvosa são 1974, 1985, 1986, 2009 e 2019. Organizou-se essas informações nas Tabela 5 e 6 a seguir para comparações entre os dados.

Tabela 5 - Anos com extremos secos de precipitação (mm). P10 em negrito.

	1973	1976	1983	1987	1989	1995	1998	2009	2010	2012	2013	2015
Anual	1800	2115	1381	1907	1315	2722	2105	3284	1987	1552	1612	1981
Seco	105	0	20	3	118	4	5	1	64	45	80	0
Chuv.	1027	1546	1030	1320	517	1016	1016	2488	839	957	1088	1471

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Conforme os dados da tabela 5, os extremos secos anuais nos anos de 1973, 1989 e 2012 coincidiram com anos de extremos secos da estação chuvosa. Os extremos secos da estação seca não coincidem com nenhum dos extremos secos anuais.

De acordo com a tabela 7, retirada do boletim sobre o ENOS disponibilizado pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), nos períodos de 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016 ocorreu a fase positiva do ENOS de muito forte intensidade, no período de 1972-1973 de intensidade forte, nos períodos de 1986-1988 e 2009-2010 de intensidade moderada e nos períodos de 1976-1978 e 1994-1995 fraca intensidade, fator que pode ter influenciado nos totais de precipitação reduzidos, principalmente na estação seca, onde todos os extremos ocorreram em períodos de El Niño.

Tabela 6 - Anos com extremos chuvosos de precipitação (mm). P90 em negrito.

	1973	1974	1975	1985	1986	1989	1991	2009	2011	2018	2019
Anual	1800	3659	3603	4084	3410	1315	3471	3284	2621	2585	3521
Seco	105	42	42	56	104	118	16	1	101	107	38
Chuv.	1027	2426	2363	2534	2521	517	2111	2488	1595	1558	2412

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Conforme os dados da tabela 6, os extremos chuvosos anuais nos anos de 1974, 1985 e 2019 coincidiram com anos de extremos úmidos da estação chuvosa. Os extremos chuvosos da estação seca não coincidem com nenhum dos extremos chuvosos anuais.

Ainda de acordo com a tabela 7, a seguir, nos períodos de 1973-1976 e 1988-1989 ocorreu a fase negativa do ENOS (La Niña) de forte intensidade, e com fraca intensidade nos períodos de 1984-1985 e 2011-2012. O fenômeno pode ter influenciado nos totais de precipitação tanto da estação seca quanto da estação chuvosa.

Tabela 7 - Classificação dos anos com El Niño e La Niña por intensidade, de acordo com os valores do índice ONI, de 1972a 2016. Em destaque os anos em que ocorreram extremos climáticos segundo os dados da estação de Tracuateua.

El Niño (Fase Positiva)				La Niña (Fase Negativa)		
Fraco	Moderado	Forte	M Forte	Fraco	Moderado	Forte
1976-77	1963-64	1972-73	1982-83	1983-84	1998-99	1973-74
1977-78	1986-87		1997-98	1984-85	1999-00	1975-76
1979-80	1987-88		2015-16	1995-96	2007-08	1988-89
1994-95	1991-92			2000-01		2010-11
2004-05	2002-03			2011-12		
2006-07	2009-10					

8.7 Discussões

Os campos obtidos com os dados do ERA-Interim e CPC/NCEP, de 1979 a 2018, compreendem a região de latitudes entre 0.8°S e 1.7°S e longitudes entre 46.6°W e 47.4°W. As médias para as séries temporais foram calculadas utilizando a média espacial da mesma região, abrangendo toda a Bacia do rio Caeté, localizado no nordeste da região amazônica no estado do Pará. Além disso, utilizou-se os dados da estação convencional de Tracuateua de 1973 a 2019, que permitem olhar para as variáveis observadas dentro da bacia.

Como a área da bacia é relativamente pequena, os pontos de grade dos dados do ERA-Interim e do CPC/NCEP são limitados, por isso ocorrem discrepâncias com medidas de temperatura e precipitação observadas na estação de Tracuateua. Mas, o padrão de distribuição temporal dessas variáveis em ambos os conjuntos de dados é condizente. Dessa forma, observa-

se que as maiores temperaturas e o menor total de precipitação, na região, apresentam-se nos meses de primavera e as menores temperaturas e maiores totais de precipitação nos meses de outono.

Isso se deve à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), explicado anteriormente, que torna os meses do começo do ano mais chuvosos e a grande nebulosidade diminui a radiação solar incidente em superfície, tornando as temperaturas mais amenas. No entanto, nota-se que a amplitude térmica anual da região é pequena, variando em torno de 6 °C entre o mês mais quente e o mais ameno, de acordo com os dados da estação convencional de Tracuateua. Durante todo o período, nota-se o aumento da temperatura média anual e leve diminuição na precipitação, de acordo com as linhas de tendência da Figura 7.

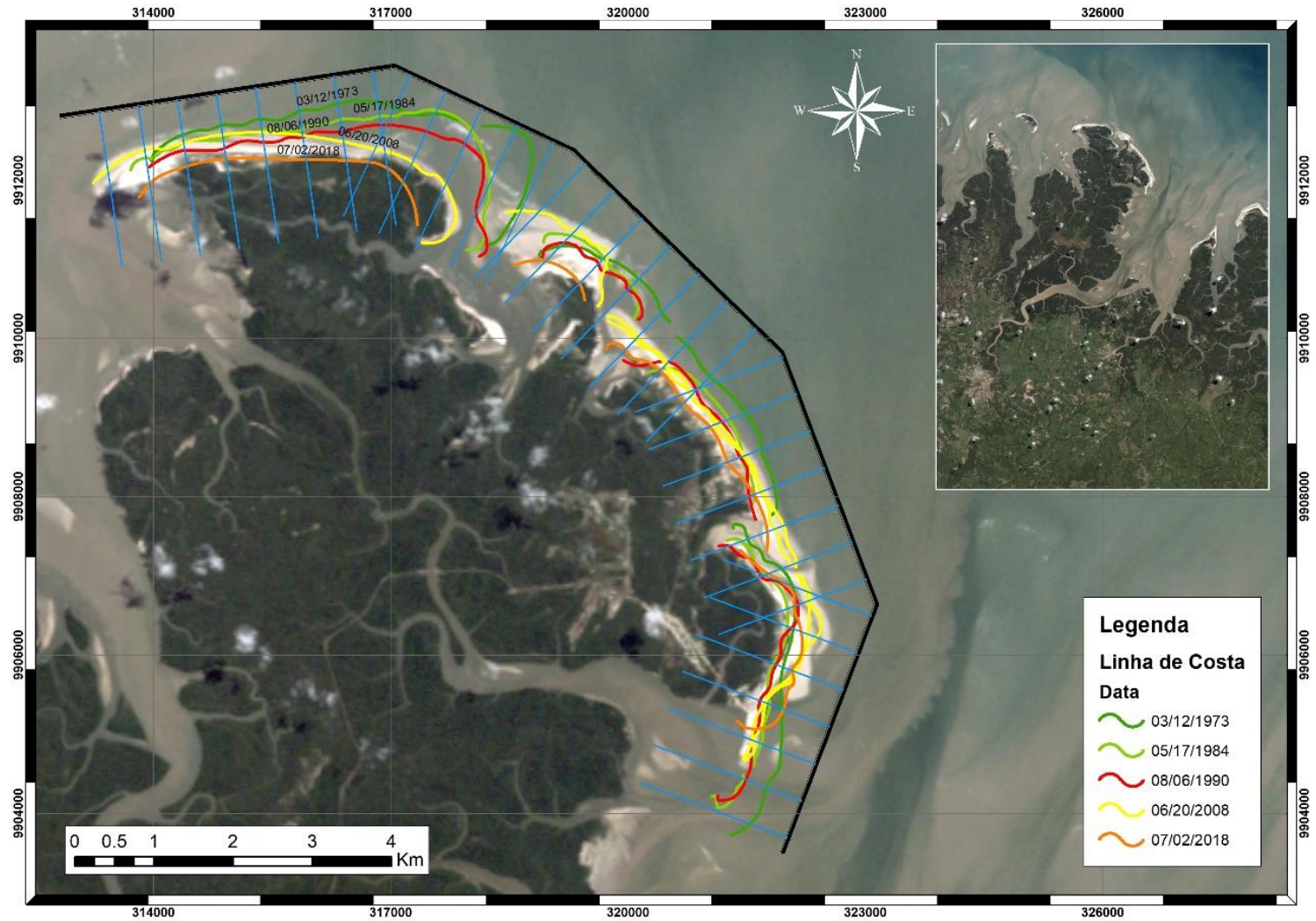
Na análise decadal dos climogramas, o padrão de aumento na temperatura e diminuição da precipitação fica visível. No entanto, é necessário levar em consideração a influência do ENOS que causa variação na precipitação ao longo das décadas de acordo com a predominância de sua fase positiva ou negativa (La Niña). Influência que fica ainda mais evidente ao analisar-se os extremos climáticos secos e chuvosos.

De acordo com os resultados encontrados, em 9 anos, do total 12 anos, os extremos secos coincidiram com a ocorrência de El Niño e em 6 anos, do total de 11 anos, os extremos chuvosos coincidiram com a ocorrência de La Niña.

8.8 Setor do Baixo Curso da Bacia do Rio Caeté

A pesquisa ao tratar de um ambiente do baixo curso com morfologia estuarina, um indicador principal de sua dinâmica é a linha de costa, apesar de sua delimitação enquanto critério complexo para ser estabelecido; em especial, pela presença do manguezal. Para este trabalho foi estimado a verdadeira posição da linha de costa. Observar Figura 42, que representa as linhas de costa em diferentes períodos.

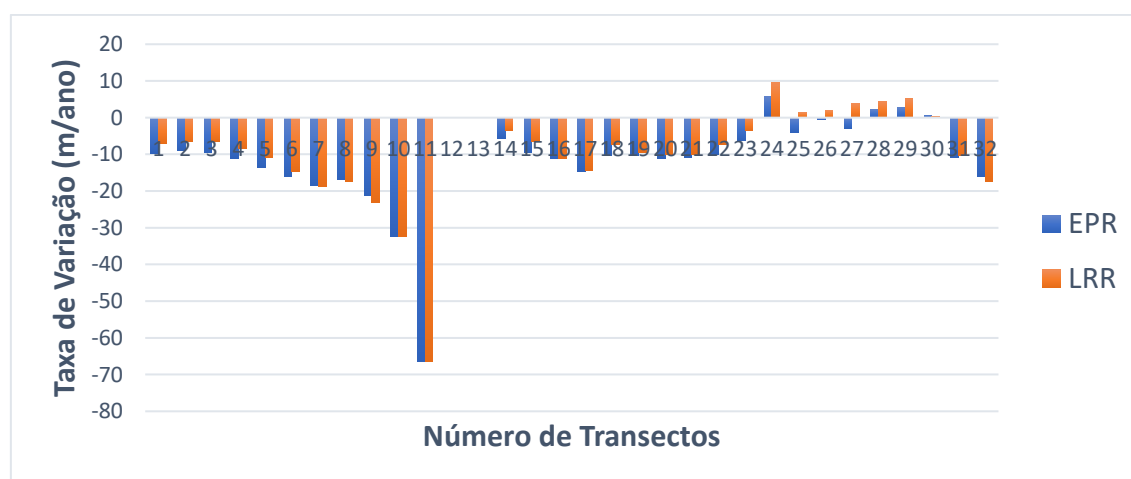
Figura 42 - Espacialização das linhas de costa na foz/estuário do Caeté dos anos interpretados com os respectivos transectos e a linha de base



Na interpretação das linhas de costa sobrepostas à imagem de satélite do ano de 2008, por meio de uma composição colorida, é possível evidenciar o material arenoso nas bordas da planície costeira e o material em suspensão ao longo do canal estuarino. Em destaque, são representados os 32 transectos, com espaçamento de 500 metros. A partir desses transectos realizaram-se os cálculos estatísticos determinando as tendências de erosão e deposição em metros por ano.

Posteriormente, foram comparadas as imagens de alta resolução, disponíveis na plataforma Google Earth, com os recortes com variações mais extremas, ou seja, com significativa erosão ou progradação.

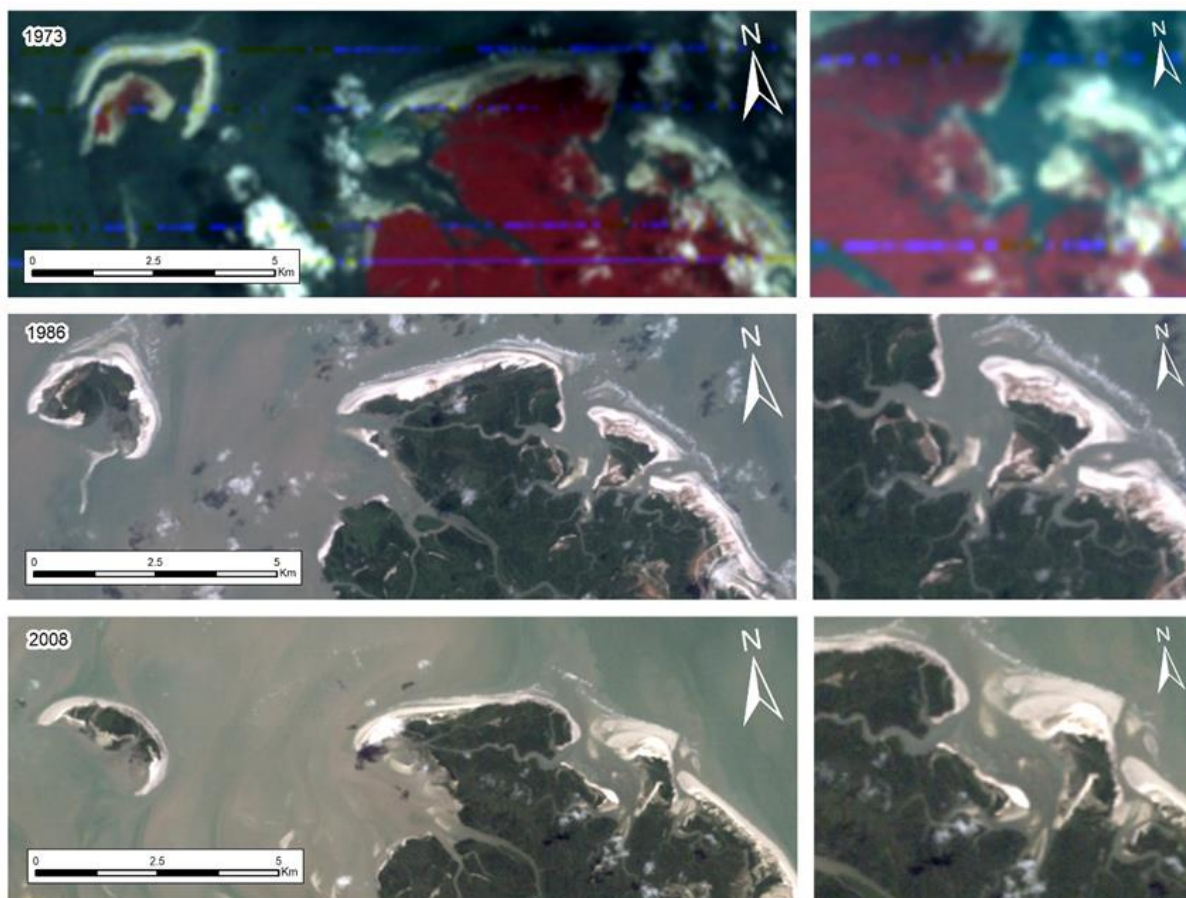
Figura 43 - Tabulação dos dados de taxa de variação em metros pelos métodos EPR e LRR. Na do estuário do rio Caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A comparação dos transectos nos diferentes métodos estatísticos (EPR e LRR) foi feita entre as linhas delimitadas de 1973, 1984, 1990, 2008 e 2018 (Figura 43).

Figura 44 – Setor oeste da ria no estuário do rio Caeté.



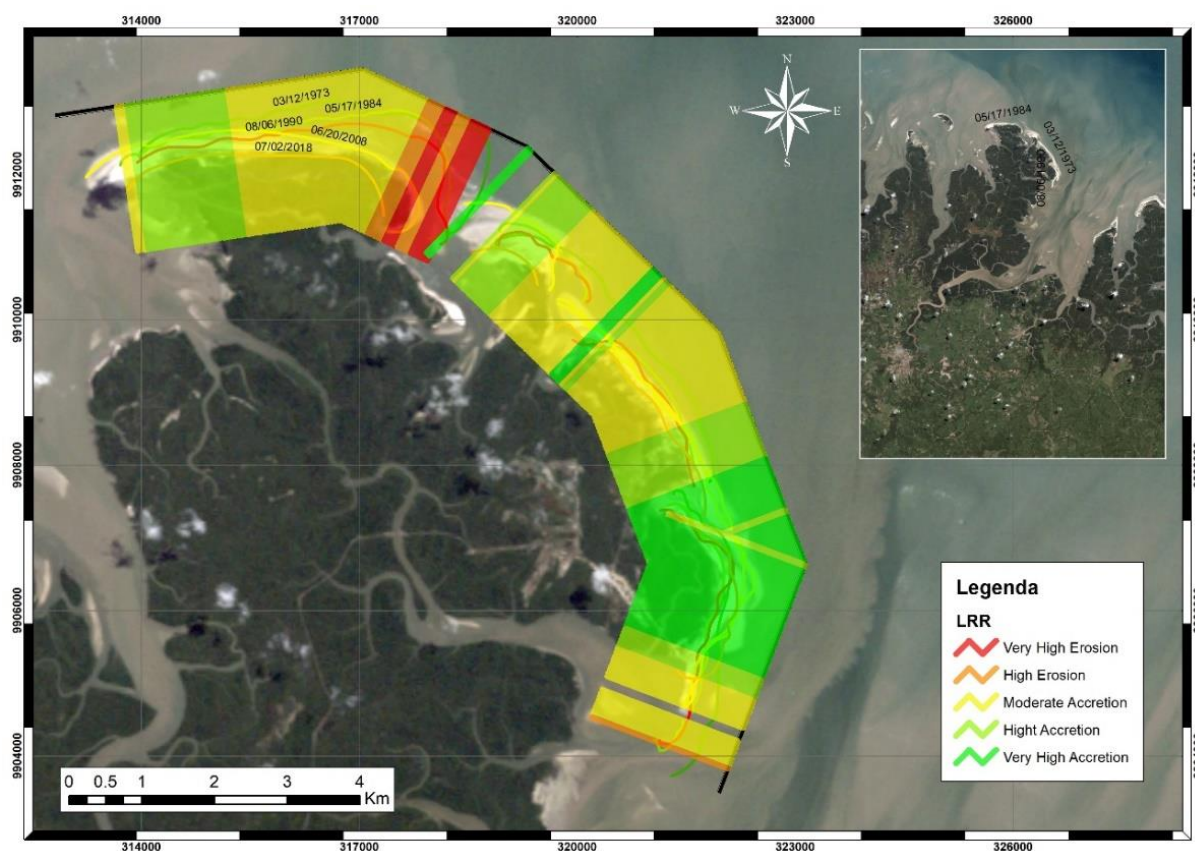
Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Após a análise dos resultados, foram observados máximos erosivos variando de 10 a 72 metros por ano no recorte temporal. Foram também verificados, na parcela central e nordeste da área de estudo, dois picos deposicionais variando de 5 a 20 metros por ano. No método EPR, as taxas de variação em metros/ano considerando a linha de costa de 1987 e 2018, não levando em conta os períodos intermediários.

Já no método LRR por conta da regressão linear, a taxa é relacionada com a inclinação da reta obtida por meio da linha de base, levando-se em conta as variações interanuais (Figura 43).

As maiores variações de tendência nos métodos encontram-se na Praia de Ajuruteua e Vila dos Pescadores. Indicando elevada variabilidade entre a erosão/deposição em praticamente todo o setor estudado. Contudo, há um predomínio da progradação em ambos os métodos EPR e LRR.

Figura 45 - Setor leste da ria do estuário do Caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Essas alterações, de progradação e erosão, e o comportamento encontrado possivelmente estão relacionados possivelmente com a morfologia de ria da área estudada, sua dinâmica local através das variações de marés, eventos extremos relacionados ao aporte de água doce pelo canal estuarino, sedimentos associados ao balanço sedimentar e consequente evolução dos cordões arenosos / praia, justificando, sobretudo, os máximos e mínimos encontrados.

Três áreas dentro do contexto do estudo foram selecionadas para um maior detalhamento e interpretação dos resultados.

No contexto, apresentaram as maiores variações próxima à margem leste (Figura 45) associadas a um ambiente bastante complexo, com canais de marés, bancos de areia, ilhas, apresentando as mais elevadas taxas de erosão de todo o setor estudado. Na Figura 46 é possível visualizar a dinâmica das formas ao longo do tempo, onde são alterados a direção e sentido das praias.

Do ponto de vista da ocupação, este setor não é habitado, provavelmente pelo conhecimento histórico dos moradores e pela intensa dinâmica na sua morfologia com presença

de ilhas, além de densa cobertura vegetal com mangue.

Figura 46 - Praia de Ajuruteua.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O segundo setor é correspondente à praia de Ajuruteua (Figura 41). Sua ocupação ocorreu de forma desordenada a partir dos anos 1980, com ocupações ligadas ao comércio e à pesca (PEREIRA *et al.*, 2006), sendo umas áreas mais turísticas do nordeste do Pará, importante para a economia local. Caracterizada como uma praia com padrão sazonal dissipativo (ALVES, 2001a), diversos trabalhos (ALVES, 2001b; ALVES; EL-ROBRINI, 2006; PEREIRA *et al.*, 2006; SOUZA FILHO; TOZZI; EL-ROBRINI, 2003) destacam os processos dinâmicos e os problemas ocorridos ao longo dos anos na praia de Ajuruteua.

Nas imagens de alta resolução é visível o processo de progradação no setor oeste do cortão arenoso com presença de dunas frontais que formam a praia de Ajuruteua, provavelmente indicando retirada de material de setor leste, alimentado pelo balanço sedimentar local. Foi possível verificar as mudanças na linha de costa com um avanço progressivo da linha de costa no setor nordeste da ria, com cerca de 350m metros (Figura 47).

Os trabalhos de Alves (2001) e Braga *et al.* (2007) elucidam que essas mudanças

morfológicas são controladas pela sazonalidade climática e os processos costeiros, corroborando a evidência encontrada nas análises das imagens.

Apesar de em uma escala mais ampla ocorrerem processos de deposição, em níveis locais os impactos dessas variações constantes são evidentes pela erosão em trechos com construção ou algum tipo de intervenção antrópica, como fica evidente ao final da via principal da praia onde haveria uma praça e um antigo coreto (Figura 46). Possivelmente, os níveis de progradação e erosão demonstram as variações relacionados ao nível relativo do mar e do balanço sedimentar da área, além da configuração extensa da praia em períodos de macromarés, que atualmente encontram-se ocupados.

Na terceira área da série histórica analisada no DSAS foi possível verificar uma mudança significativa no setor da Vila dos Pescadores entre 1973 e 2018, na Figura 08 são destacados alguns recortes representativos com imagens de alta resolução extraídas do Google Earth.

Durante o trabalho de campo foi possível verificar ao longo da região litorânea em destaque no círculo vermelho em dezembro de 2018 (Figura 46). As áreas com progradação são evidenciadas pela acumulação de material arenoso em setores ocupados por bosques de manguezal, sendo evidente a mortandade relacionada aos processos deposicionais.

Figura 47- Cordão arenoso em 2007, formação de bancos de areia nos anos de 2015 e 2018, no círculo vermelho é possível observar área com sedimentação e mortandade de mangue.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O setor estuarino da margem direita, que não foi enfatizado na análise, apresenta pequenas praias arenosas e a formação de algumas ilhas pela ocupação de bosque de mangue em bancos arenosos.

Uma das áreas verificadas para trabalhos futuros foi o banco de areia a leste da comunidade de Ponta do Urumajó. Atualmente constituindo uma ilha fluvial, na Figura 47 é destacado inexistência da mesma em 1973, sua consolidação em 2010 e em 2019 foi realizado um campo em uma área que está sendo colonizada por novas espécies de mangue.

Os resultados alcançados permitiram evidenciar espaço-temporalmente o comportamento da linha de costa de alguns trechos do estuário do rio Caeté que apresentam faixas de praias mais significativas, sendo por fim um dos principais destaques de mudança o balanço sedimentar resultante de processos costeiro de curto, médio e longo prazo. As áreas que apresentam intervenção antrópicas são impactadas principalmente por conta da construção de estruturas inadequadas em ambientes de praia e ou banco de areias, que muitas vezes são submersos nos períodos de marés mais intensas.

Algumas hipóteses de causas e processos foram levantadas e possíveis evidências de modificações apresentadas através das ferramentas dispostas.

Em suma, embora as imagens de sensores passivos da costa amazônica apresentem uma cobertura de nuvens significativa, o uso da ferramenta DSAS na análise de tais imagens em um período de tempo maior e com um sistema de escala adequado provou ser bem-sucedido quando associado aos trabalhos de campo e outros produtos de sensoriamento remoto, o que ajuda na caracterização que investigou áreas e aponta para as mudanças observadas.

8.9 Dinâmica do uso e ocupação

O monitoramento do desmatamento e em especial das transformações das formas de uso e ocupação é uma ferramenta importante para definição de políticas públicas que envolva as ações de prevenção e monitoramento dessas áreas sensíveis. No caso os solos expostos são um indicativo do corte raso (INPE, 2018).

O evidente crescimento da cultura do dendê vem ocupando grande parte do setor referente às nascentes do rio Caeté, o que pode acarretar um aumento na deposição de sedimentos na calha do rio, em razão da intensidade.

Dos processos de erosão laminar e associados, por conta das elevadas precipitações

em especial entre os principais impactos inicialmente observados, estão:

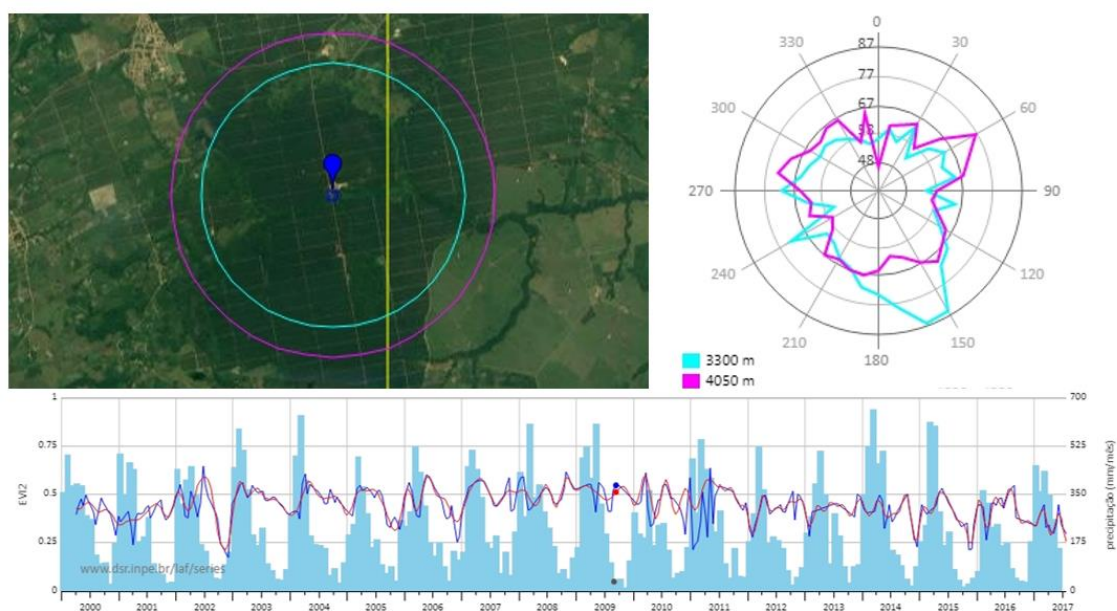
- a. Diminuição do nível das águas decorrente da diminuição da recarga das nascentes ou o seu desaparecimento.
- b. Desmatamento indiscriminado da mata ciliar ou substituição por outras espécies como o açaí e demais palmeiras, facilitando os processos de erosão já comentados.
- c. Assoreamento e insesiticação do acúmulo de material arenoso no interior do rio, gerando impactos do ponto de vista da navegabilidade e qualidade da água disponível, em especial das comunidades mais isoladas de estradas pavimentadas.

Por meio dos métodos de classificação supervisionada foi possível avaliar as mudanças na forma de uso e ocupação. É importante destacar que para fins de mapeamento da vegetação, a sua classe clímax é reflexo das condições ambientais dominantes, quando se encontra em seu estado de conservação, estando também diretamente relacionada à precipitação e temperatura. Em escalas maiores, a correspondência entre vegetação e condições ambientais é mais fina e evidente. Já em escalas pequenas, a classificação da vegetação precede o mapeamento e consiste nos diferentes tipos de vegetação, dependendo da classificação existente e informações prévias em consulta com a literatura.

Para o mapeamento das formas de uso, entendimento e comportamento da vegetação, é essencial na espacialidade dos dados, apoiado em geoprocessamento e na análise de imagens de satélite, além de uma infinidade de tratamentos e classificações de imagens (supervisionada / não supervisionada) e índices de vegetação (NDVI, SAVI e EVI): NDVI (Índice de Vegetação Por diferença normalizada), SAVI (Índice de Vegetação Ajustada pelo Solo) e EVI (Índice de Vegetação Melhorada).

Nessa perspectiva, uma forma de representar as mudanças nas análises de mudança de uso e cobertura da terra é a correlação entre a precipitação pluviométrica, derivada do modelo da Missão de Medição de Precipitação Tropical (*Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM*) e os dados de mudança do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Na Figura 48 é possível observar uma correlação entre os mínimos de precipitação e as mudanças nos usos, possivelmente relacionadas com a substituição da floresta secundária ou culturas agrícolas pela monocultura do dendê.

Figura 48 - Série temporal com dados do sensor EVI2-MODIS e precipitação acumulada mensal do TRMM de 2000 até 2019.



Fonte: LAF, 2019

Outro aspecto importante é que os programas de monitoramento focam basicamente na tríade do corte raso, desmatamento e queimada, outros aspectos ligados às mudanças nas formas de uso e ocupação não considerados. Nessa perspectiva, a necessidade de construção de uma representação das formas de uso ocupação, constituem como importante elemento nos estudos de dinâmica do meio ambiente. Sendo a vegetação e a mudanças dessas áreas um importante indicativo (LIU, 2007; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

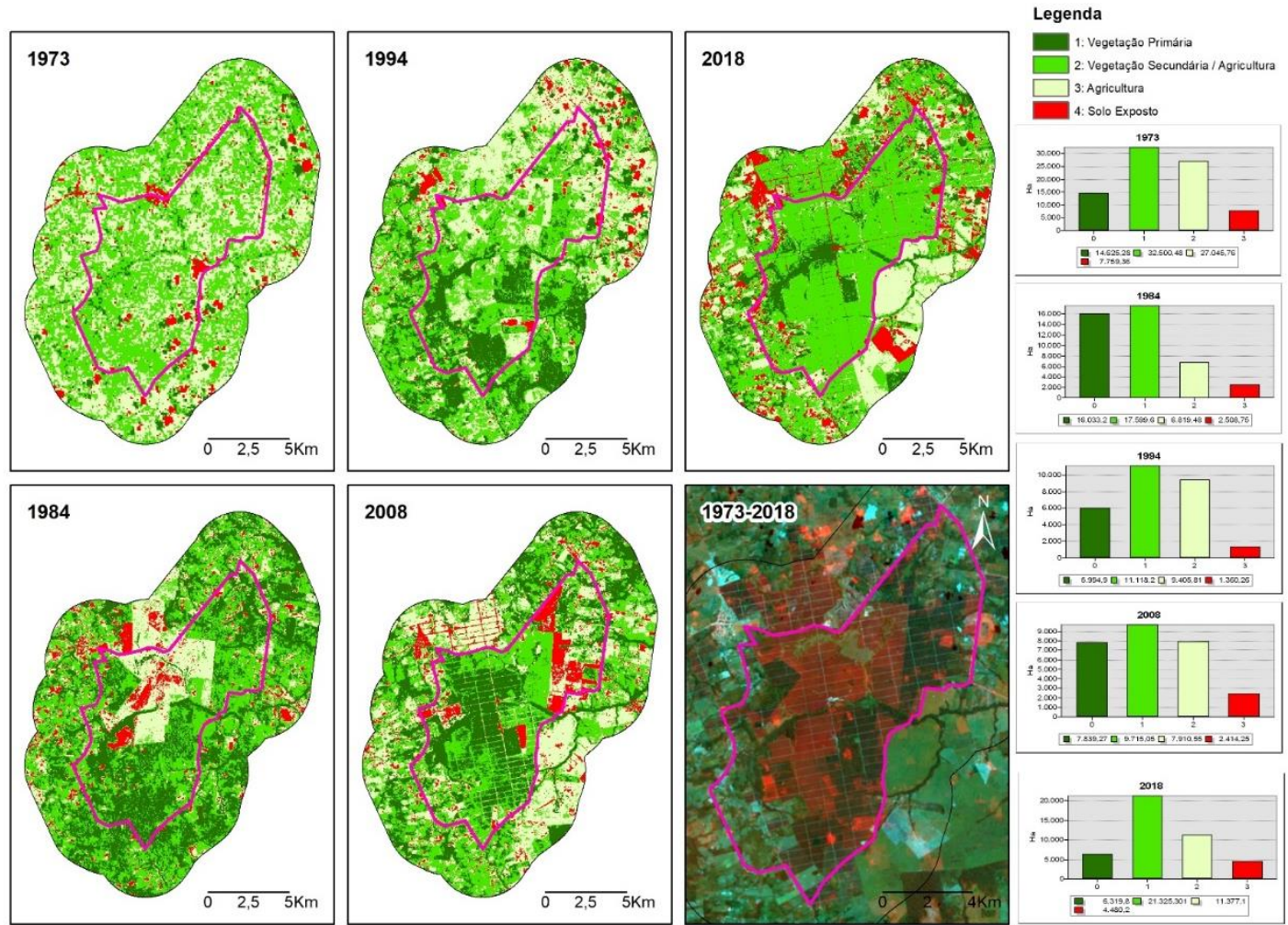
Em relação às mudanças nas formas de uso e ocupação, a principal transformação foi a transição entre vegetação primária e agricultura, em especial na plantação de dendê. Nos últimos anos, é evidente o crescimento do setor de produção da palmeira de dendezeira, com um gradual aumento significativo da área plantada, como ficou evidente na análise de componentes principais com o aparecimento de padrões geométricos em vermelho (1973-2018). Possivelmente, essa mudança se deu aos longos das décadas da transição dos lotes de colonização com agricultura da década de 1980 até a inserção da monocultura do dendê em 2008.

Outra questão marcante foi a reduzida área de cobertura vegetal primária, mesmo nas imagens mais antigas, por já ser uma área historicamente ocupada no contexto da Amazônia

oriental, onde grande parte da vegetação nativa já foi suprimida no começo na primeira metade do século XX (PENTEADO, 1967).

Em relação aos outros trechos da bacia percorrido no trabalho de campo, a área estuarina ainda é uma das mais ‘conservadas, já que no médio curso predomina o corte raso, ou seja, a supressão da vegetação, tendo em vista a ocupação histórica mais intensa no médio e baixo curso em especial. No médio curso, a agropecuária é um dos principais vetores de degradação. Na substituição da vegetação primária e secundária pelo pasto e gado de corte, onde cada vez mais a vegetação foi suprimida a pequenos setores de mata ciliar ao longo do rio Caeté. Observar figura 49.

Figura 49 – Setor do alto curso da bacia do Rio Caeté, correspondente a parte do município de Bonito.

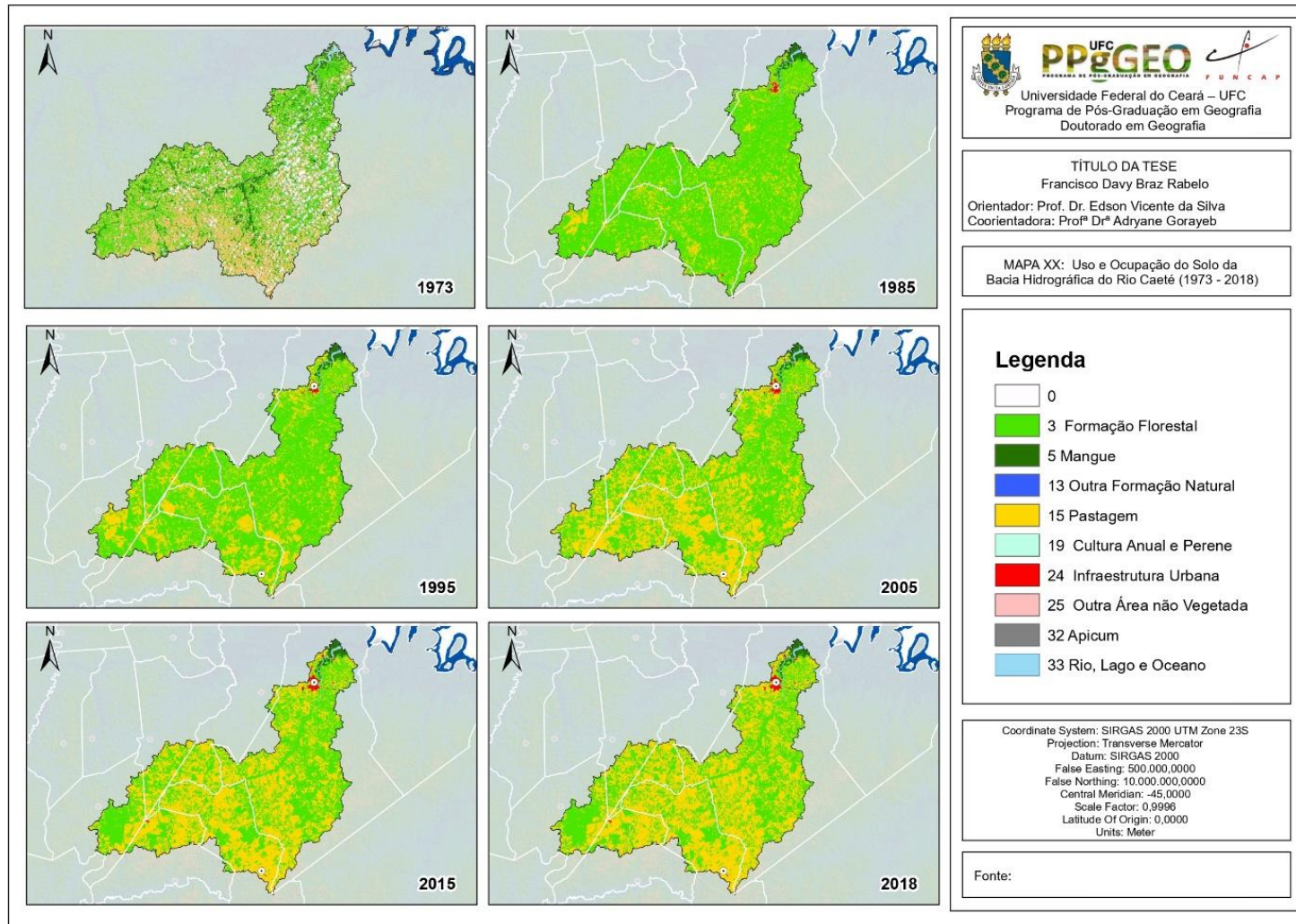


Fonte: elaborado pelo autor (2020)

O evidente crescimento da cultura do dendê vem ocupando grande parte do setor referente às nascentes do rio Caeté. Em especial, nos anos de 2008 e 2018, podendo este processo acarretar um aumento na deposição de sedimentos na calha do rio, decorrente dos processos de erosão laminar e associados, por conta das elevadas precipitações. Outros problemas podem ser desencadeados com diminuição do nível das águas decorrente da diminuição da recarga das nascentes ou o seu desaparecimento.

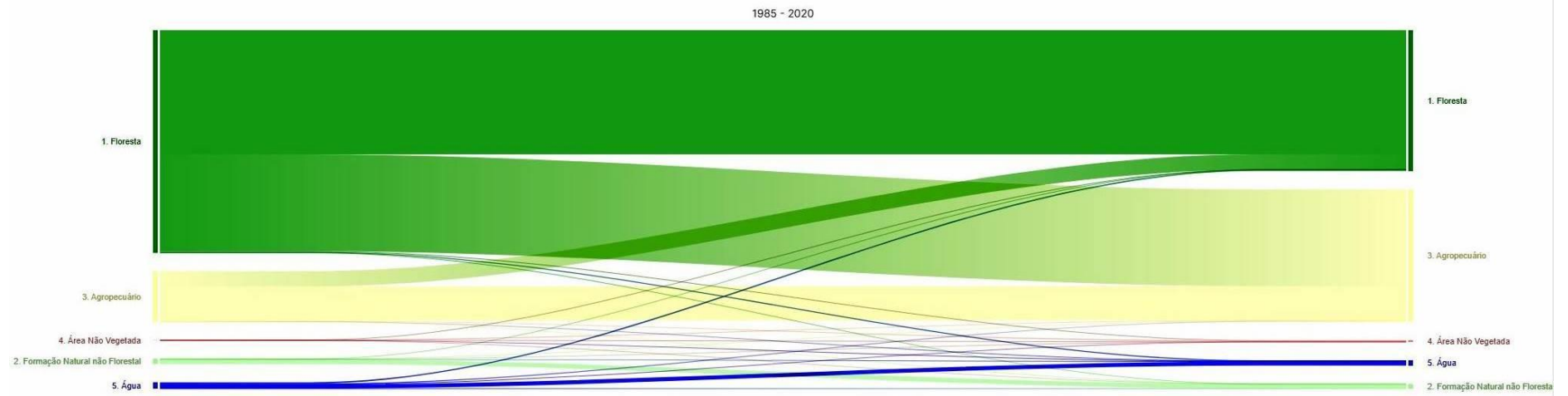
Destaca-se o desmatamento indiscriminado da mata ciliar ou substituição por outras espécies como o açaí e demais palmeiras, facilitando os processos de erosão já comentados e um consequente assoreamento e intensificação do acúmulo de material arenoso das planícies fluvial e flúvio marinho. Tal fato gera impactos do ponto de vista da navegabilidade e na qualidade da água disponível, em especial das comunidades mais isoladas de estradas pavimentadas, onde o rio é historicamente um importante meio de transporte para a população e de suas mercadorias. Observar Figura 50.

Figura 50 – Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio caeté.



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Figura 51 - Matriz de transição entre as classes de uso.



No geral, os dados obtidos na pesquisa foram considerados satisfatórios e os resultados apresentaram um indicativo no que diz respeito às principais classes de uso e ocupação do solo. É importante destacar que outras análises devem ser realizadas, otimizando a aplicação de recursos mais robustos, como ferramentas recentes como *Google Earth Engine*, que potencializam o processamento e facilitam a integração de técnicas.

Talvez o maior desafio seja o aprimoramento das técnicas de validação dos dados, que são utilizadas nesses estudos. Ademais, pela utilização de diferentes plataformas e sensores, que com suas diferentes resoluções e processos de aquisição carregam erros de interseções que são difíceis de avaliar no contexto de uma análise temporal.

Mudanças induzidas pelo homem na superfície da Terra causaram transformações significativas na cobertura da terra na estrutura e funcionamento dos ecossistemas, com sérias implicações para a sustentabilidade ambiental e meios de subsistência humanos. Portanto, nossa capacidade de detectar essas mudanças representa um grande desafio de pesquisa tanto nas ciências ambientais quanto nas humanas.

O Brasil já está avançado no monitoramento de algumas dessas mudanças, mas trata-se principalmente de mudanças florestais e está concentrado no bioma Amazônia, que cobre quase metade do país. No entanto, existem mais 5 biomas (Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa) com pouca ou nenhuma informação sobre cobertura e uso da terra para apoiar o planejamento e a tomada de decisão sobre como direcionar essas transformações para reduzir o impacto ambiental, no meio ambiente e população.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de vista climatológico, os campos obtidos com os dados do ERA-Interim e CPC/NCEP, de 1979 a 2018, compreendem a região de latitudes entre 0.8°S e 1.7°S e longitudes entre 46.6°W e 47.4°W. As médias para as séries temporais foram calculadas utilizando a média espacial da mesma região, abrangendo toda a Bacia do rio Caeté, localizado no nordeste da região amazônica no Estado do Pará. Além disso, utilizou-se os dados da estação convencional de Tracuateua de 1973 a 2019, que permitiram olhar para as variáveis observadas dentro da bacia.

Como a área da bacia é relativamente pequena, os pontos de grade dos dados do ERA-Interim e do CPC/NCEP são limitados; por isso, ocorrem discrepâncias com medidas de temperatura e precipitação observadas na estação de Tracuateua. Mas, o padrão de distribuição temporal dessas variáveis em ambos os conjuntos de dados é condizente. Dessa forma, observa-se que as maiores temperaturas e o menor total de precipitação, na região, apresentam-se nos meses de primavera e as menores temperaturas e maiores totais de precipitação nos meses de outono. Isso se deve à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), explicado anteriormente, que torna os meses do começo do ano mais chuvosos e a grande nebulosidade diminui a radiação solar incidente em superfície, tornando as temperaturas mais amenas. No entanto, nota-se que a amplitude térmica anual da região é pequena, variando em torno de 6 °C entre o mês mais quente e o mais ameno, de acordo com os dados da estação convencional de Tracuateua. Durante todo o período, nota-se aumento da temperatura média anual e a leve diminuição na precipitação, de acordo com as linhas de tendência que foram apresentadas.

Na análise decadal dos climogramas, o padrão de aumento na temperatura e diminuição da precipitação fica visível. No entanto, é necessário levar em consideração a influência do ENOS que causa variação na precipitação ao longo das décadas de acordo com a predominância de sua fase positiva ou negativa (La Niña). Influência que fica ainda mais evidente ao analisar-se os extremos climáticos secos e chuvosos. De acordo com os resultados encontrados, em 9 anos, do total de 12 anos, os extremos secos coincidiram com a ocorrência de El Niño e em 6 anos, do total de 11 anos, os extremos chuvosos coincidiram com a ocorrência de La Niña.

No que diz respeito à dinâmica das formas de uso e ocupação é necessário avaliar a eficiência da classificação por meio do método desenvolvido. Com possibilidade de integração entre uma Classificação supervisionada e a classificação orientada ao objeto,

utilizando como fonte os dados produzidos por outros mapeamentos para validação.

Talvez o maior desafio seja o aprimoramento das técnicas de validação dos dados, que são utilizadas nesses estudos. Ademais pela utilização de diferentes plataformas e sensores, que com suas diferentes resoluções e processos de aquisição carregam erros em algumas interseções que são difíceis de avaliar no contexto de uma análise espaço-temporal.

Apesar do conjunto de técnicas quantitativas, apresentam uma certa subjetividade no processo de construção e principalmente na validação dos resultados. Existem técnicas utilizando modelos computacionais mais robustos, algoritmos e séries históricas mais amplas podem apresentar resultados mais satisfatórios no que diz respeito à classificação e à validação dos dados de uso e cobertura da terra.

As indicações expostas são relevantes para a pesquisa por apresentarem importantes contribuições no que diz respeito à indicação dos períodos de seca na Amazônia, pois os mesmos estão relacionados diretamente aos eventos de El Niño. Nessa perspectiva, é possível compreender sua dinâmica e as repercussões no ambiente, o que são relevantes dentro da diversidade das formas de uso e ocupação da Região Nordeste do Estado do Pará.

Outro aspecto são os estudos dos eventos extremos, nesse caso das secas, existindo provavelmente uma relação direta entre o regime de seca climatológica e regime hidrológico dos rios, com as variações no seu nível e amplitude. por meio da definição dos períodos de seca, com base nos dados históricos da normal climatológica dos últimos 30 anos, poderão ser definidos os períodos de seca dentro do contexto de precipitação. Foram utilizados como critério para seleção das imagens os anos de seca. Assim, espera-se no futuro correlacionar as variáveis e repercussão dos anos extremos de precipitação com os períodos extremamente secos. Sendo estes possíveis indicativos de repercussões das mudanças climáticas, sejam ela oriundas de ações antrópicas ou na dinâmica geológica do planeta.

Os dados provenientes dos sistemas sensores são importantes ferramentas na análise das mudanças da superfície terrestre, suas diferentes características permitem aplicações nas mais diversas áreas e escalas de análise. Por outra parte, geotecnologias vêm se aperfeiçoando, com inovações tecnológicas, em níveis de precisão e eficiência, como recurso para leitura e interpretação da realidade. Possibilidade de efetivação de leitura espaço-temporal com imagens de satélite e de quantificação da dinâmica, têm trazido significativos avanços ao planejamento ambiental, na elaboração de diagnóstico, plano de gestão, como também na definição de prognóstico e criação de prováveis cenários paisagísticos futuros.

Apesar de ser uma área do conhecimento, é uma importante técnica no contexto de

sua aplicação nos estudos da Geografia, especificamente no que tange às questões ambientais é relevante ter em mente que se constitui como meio e, não fim principal nas aplicações e; com isso, está melhor representada quando atrelada a algum método e metodologia geográfica.

O conjunto de técnicas quantitativas apresenta uma certa subjetividade no processo de construção e principalmente na validação dos resultados e os dados provenientes dos sistemas sensores são importantes ferramentas na análise das mudanças da superfície terrestre, suas diferentes características permitem aplicações nas mais diversas áreas e escalas de análise.

Por outra parte, geotecnologias vêm se aperfeiçoando, com inovações tecnológicas, em níveis de precisão e eficiência, como recurso para leitura e interpretação da realidade. Há possibilidades de efetivação de leitura espaço-temporal com imagens de satélite e de quantificação da dinâmica, têm trazido significativos avanços ao planejamento ambiental, na elaboração de diagnóstico, plano de gestão, como também na definição de prognóstico e criação de prováveis cenários paisagísticos futuros.

Técnicas e modelos computacionais mais robustos, algoritmos e séries históricas mais amplas podem apresentar resultados mais satisfatórios no que diz respeito à classificação e à validação dos dados de uso e cobertura da terra.

Baseados nesse critério, foram selecionadas as imagens de satélite para realizar a classificação, no processo de classificação das imagens Classificação GEOBIA, que consiste em um método de classificação orientada a objetos, sendo ferramenta que utiliza o agrupamento dos pixels por meio da segmentação orientada; diferentes dos algoritmos de classificação mais tradicionais, que no geral trabalham com a perspectiva dos valores por pixels, ou seja, são definidas na GEOBIA classes homogêneas.

Outro aspecto vital no trabalho com dados de classificação é a validação dos dados, que se pretende desenvolver por meio de uma matriz de Confusão e Índice Kappa. Já como aspecto final baseado na modelagem dinâmica foi utilizado a metodologia para cenarização e modelagem dinâmica por meio de um modelo baseado no método de regressão linear.

Tendo em vista à amplitude dos fenômenos no estuário, existem indícios de uma possível correlação entre os processos erosivos e os diferentes níveis de degradação ao longo da bacia hidrográfica, em especial no balanço sedimentar, acarretando diferentes níveis de progradação e erosão, onde os maiores impactos são nas áreas habitadas que no geral são em ambiente de sedimentação com formação de praias arenosas ou banco de areias.

Na carência de métodos de levantamento direto, que utiliza técnicas como nível topográfico, multicaminhamento com receptor GNSS, etc... e de imagens de alta resolução, os

produtos disponibilizados pelas missões do Landsat são alternativas viáveis, resguardando-se as limitações já citadas e as mais básicas ligadas à escala, resolução e disponibilidade dos dados.

Dessa forma, o método indireto, por meio de dados de sensoriamento remoto passivos apesar das limitações ligadas ao processo de aquisição influenciada em grande parte pela interação entre a energia, superfície terrestre e sensor apresentam grande potencial nas escalas de temporais mais amplas. Contudo, em áreas intertropicais a nebulosidade, evapotranspiração e demais condicionante limitam a disponibilidade de um acervo mais amplo de imagens.

Por tanto, são necessários estudos relacionados à balança sedimentar da Baía do Caeté, para uma melhor compreensão de forma mais efetiva o papel da descarga de sedimentos ao longo do rio no setor do baixo curso.

Outra questão, um monitoramento em escala de detalhe por meio de produtos de sensoriamento remoto com escala gradem e levantamentos em campo com instrumentos mais preciso na área da baía pode contribuir para a obtenção de melhores e mais precisos resultados.

Por fim, a compreensão da dinâmica costeira, mesmo que por métodos indiretos é uma importante ferramenta para o diagnóstico dos processos atuantes e suas repercussões nas diversas atividades que são desenvolvidas na Zona Costeira Bragantina, especificamente na bacia e estuário do rio Caeté, seja por sua ocupação histórica, importância econômica na região e os serviços socioambientais prestados pelo ecossistema manguezal.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER A. N. **Amazônia: Do Discurso à Práxis**. 2. ed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
- AB'SABER. A.N. Fundamentos de geomorfologia costeira do Brasil atlântico Inter e Subtropical. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 1 n. 1, p. 27-43, 2000.
- ABREU, Marcelo Wanderley Matos de. Aplicação do Modelo Hidrodinâmico no Estuário do Rio Caeté (Ne Do Pará). Programa De Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. **Dissertação de Mestrado**. 2008.
- ALVES, M. A. M. S.; EL-ROBRINI, M. Morphodynamics of the Macrotidal Beach: Ajuruteua, Bragança – North Brazil”. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), p. 1848–1850, 2006.
- ALVES, M.A.M.S. **Morfodinâmica e Sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará**. 104 f. 2001. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Dissertação de Mestrado, Belém do Pará, 2001.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998.
- AUTORIA? Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 137-156, 2004.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Difel, 1996. 226p.
- BALL, G. H.; HALL, D. J. **ISODATA**, A novel method of data analysis and pattern classification. Technical Report, 1965.
- BERTRAND, C. **Uma Geografia Transversal e de Travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n.13, p.1-27, 1972.
- BIRON, P. M.; BUFFIN-BE'LANGER, T.; LAROCQUE, M.; CHONE', G.; CLOUTIER, C.-A.; OUELLET, M.-A.; DEMERS, S.; OLSEN, T.; DESJARLAIS, C.; EYQUEM, J. Freedom Space for Rivers: A Sustainable Management Approach to Enhance River Resilience. **Environmental Management**, v. 54, n. 1056, 2014. DOI 10.1007/s00267-014-0366-z
- BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: **A Review. Journal of Coastal Research**, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.

BOARD, Christopher. Os mapas como modelos.pdf [referência incompleta]

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRAGA, F. P. S.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ALVES, M. A. M. S.; PEREIRA, L. C. C. Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Amazônia, Norte do Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, 60-61, p. 11-30, 2007.

BRAGA, R. **Instrumentos para gestão ambiental e de recursos hídricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2009.

BRASIL. Congresso. Senado. **Decreto nº 4297, de 10 de julho de 2002**. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm. Acesso em: 20 nov. 2018.

BRASIL. Congresso. Senado. **Decreto nº 5300, de 7 de dezembro de 2004**. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5300.htm. Acesso em: 20 nov. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (1973-1987). **Projeto Radambrasil**. Levantamento de recursos naturais. 34 vols. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. **Levantamento de recursos naturais**. v. 3, folha SA. 23, São Luís e parte da folha SA 24 Fortaleza. Rio de Janeiro, 1973. Escala 1: 250.000.

CESTARO, L. A. **Técnicas de análise da vegetação para identificação e mapeamento de unidades geoambientais**. Fortaleza: TENG, 2018. 127 slides, color.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, Peter. *Physical and information models in geography*. Londres: Routledge, 1967. E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203075579>. Acesso em: 20 nov. 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo. HUCITEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. As perspectivas dos estudos geográficos. *In*: CHRISTOFOLETTI, A. (Ed.). **Perspectivas da Geografia**. São Paulo: Difel, 1985.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, R. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. [S. l.: s. n.]. E-book. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(98\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(98)00105-4). Acesso em: 20 nov. 2018.

CHUVIECO, E.; HUETE, A. **Fundamentals of satellite remote sensing**. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 2010.

COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. **Wetlands Ecology and Management**, [S. l.], 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1025007331075>. Acesso em: 20 nov. 2018.

COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology and Management*, [S. l.], 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1025007331075>. Acesso em: 20 nov. 2018.

COHEN, M. C. L.; SOUZA FILHO, P. W. M.; LARA, R. J.; BEHLING, H.; aNGULO, R. J. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Braganca Peninsula (Northern Brazil). **Wetlands Ecology and Management**, n. 13, p. 433–43, 2005.

COHEN, M.C.L. Past and current mangrove dynamics on the Bragança Peninsula, Northern Brazil. 2003 126 f. **Tese** (Doutorado em Biologia Química) – Universidade de Bremen, Bremen, 2003.

COLLINS, M. *et al.* Extremes, Abrupt Changes and Managing Risks. In: ABRAM, N. *et al.* **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. Genebra: IPCC, 2019.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

COSTA, F. E. V. **Gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Caeté / Pará-Brasil**. 2017. 313f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

COSTA, P. C. **Unidades de Conservação: matéria-prima do ecoturismo**. Aleph, São Paulo, 2002.

COX, P.M.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D. [referência incompleta]

CRÓSTA, Á. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992.

DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MENDONÇA, F, 2007. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos, 2a reimpressão.

DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V. 2012. The shifting probability distribution of global daytime and night-time temperatures. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 14, p. 1-5.

DOUROJEANNI, A. **Políticas Públicas para el Desarrollo Sustentable: la gestion integrada de cuencas**. CEPAL. Santiago de Chile, 1994.

DUARTE, C. R.; MIRANDA, F. P. de; LANDAU, L.; SOUTO, M. V. S.; SABADIA, J. A. B.; SILVA NETO, C. A. da; RODRIGUES, L. I. de C.; DAMASCENO, A. M. Short-time analysis of shoreline based on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil, **International Journal of Remote Sensing**, 2018.

EASTERLING, D. R. *et al.* Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. **Science**, v. 289, n. 5487, p. 2068–2074, 2000.

EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. M. A. da; SOUZA FILHO, P. W. M. e; EL-ROBRINI, M. H. S.; SILVA JR, O. G. da. FRANÇA, C. F. de. Pará. *In*: MUEHE, Dieter (Org.). **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**. Rio de Janeiro, 1988.

FEARNSIDE, P.M. Mudanças climáticas globais e a floresta amazônica. *In*: BUCKERIDGE, M. S. (Ed.). **Biologia e Mudanças Climáticas Globais no Brasil**. São Paulo: RiMa, 2008.

FENÔMENO El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/agrometeorologia/2017-01-09-boletim-enos.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

FERREIRA, L.G.B.; CARAMORI, P.H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, P.R.; COSTA, A.B.F. O., FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, M. T. C. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981.

GODOY, PRT. (Org.). História do pensamento geográfico e epistemologia em Geografia [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 27 jul. 2020.

GOLUBEV, G. N. **Geoecologia**. Moscou: Geos, 1999.

GONZALES, I. El Manejo de Cuencas en Cuba: actualidades y retos. *In*: COTLER, H. (Org.). **El manejo integral de cuencas em México**. México: INE, 2004.

GORAYEB e PEREIRA. Análise Integrada Das Paisagens De Bacias Hidrográficas Na Amazônia Oriental. 2014.

GORAYEB, A. Análise Integrada da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Caeté–Amazônia Oriental. 2008. 204 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Condições Ambientais em áreas urbanas da bacia hidrográfica do rio Caeté, Amazônia Oriental, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 59-70, 2009.

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Natural conditions and environmental impacts in a coastal hydrographic basin in the Brazilian Amazon. **Journal of Coastal Research**, SI. n. 64, p. 1340-1344, 2011.

GREGORY, Ken J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUIMARÃES, D. O.; PEREIRA, L. C. C.; MONTEIRO, M. C.; DA COSTA, R. M. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais das Comunidades Rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté (Pará-Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 71-84, 2009.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Models, paradigms and the new Geography. *In*: CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Ed.). **Models in Geography**. Londres: Methuen e Co., 1967.

HAGGETT, P.; CHORLEY, Richard J. Models, paradigms and the new geography. *In*: **Physical and Information Models in Geography**. [S. l.: s. n.]. E-book.

HARTT, Ch. F. A geologia do Pará. **Boletim do Museu Paraense de Historia Natural e Ethnographia**, Belém, v. 1, n. ¼, p. 257-273, 1894/1996.

HIMMELSTOSS, E. A. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. *In*: THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *updated for version 4.3. 2009.

HORN, N. Ilha de Santa Catarina. *In*: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. Diretoria de Geociências, 2011.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing a: a remote sensing perspective**. 2.ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1996.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

JOHNSON, L. J.; CHORLEY, R. J.; HAGGETT, Pe. **Models in Geography**. Economic Geography, [S. l.], 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/143391>

KATZER, F. Geologia do estado do Pará (Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de Historia Natural e Etnografia**, Belém, v. 9, p. 3-269, 1933.

KIRKBY, M. J. *et al.* **Computer simulation in Physical Geography**. Chichester: Wiley, 1987.

KLINK, h. J. Geocologia e regional natural. biogeografia, nº17, **IGEOG-USP**, São Paulo, 1974.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, c2009.

LI, W.; FU, R.; DICKINSON, E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. D02111, 2006.

LIMA, Aline Maria Meiguins de, Diogo Marques Oliveira, Fábio Monteiro Cruz, João Athaydes Silva Jr, Wilfredo Pragana De Oliveira, Verônica Jussara Costa Santos. Avaliação Ambiental da Bacia do Rio Caeté na Costa Atlântica do Estado do Pará. Anais do XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS- MACEIÓ, 2011.

LIMA, M. I. C. **Projeto RADAM**: Uma Saga na Amazônia. Belém: Pack Tatu, 2008.

LIU, W. T.-H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, c2007.

LOBO, F. D. L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; NOVO, E. M. L. M.; CARLOS, F. M.; BARBOSA, C. C. F. Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery (2017). **Remote Sensing**, n. 10, p. 1178, 2018.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MARENGO, J. A., OLIVEIRA, G.S. Impactos do Fenômeno La Niña no Tempo e Clima do Brasil: Desenvolvimento e Intensificação do La Niña 1998/99. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2014.

MATEO, J.; SILVA, E.; CAVALCANTI, A. **Geocologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. Abordagem geomorfológica para a realização de estudos integrados para o planejamento e gestão em ambientes flúvio-marinhos. Scripta Nova. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, Universidad de Barcelona, v. VI, n. 118, 2002.

MENDEZ, E. **Planificación y Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible**. CIDIA, Mérida, Venezuela: [s. n.], 1999.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2002.

MONTEIRO, C. A. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2005.

MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: [s. n.], 2006.

MUEHER, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. *In:* CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 273-349.

MULTIVARIATE ENSO INDEX VERSION 2 (MEI.V2). Physical Sciences Laboratory (PSL) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2020.

NASA. Landsat ETM+ scene p219r062_7x20010706, USGS, 06 jul. 2001. Landsat Program, 2001.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações . 4. ed. rev. São Paulo, SP: Blucher, 2010. 387 p. ISBN 9788521205401 (broch.).

PEDERSEN, P. O.; HAGGETT, P.; CHORLEY, R. J. Network Analysis in Geography. *Geographical Review*, [S. l.], 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/214004>. Acesso em: 20 jan. 2019

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, **European Geosciences Union**, v. 4, n. 2, p.439-473, 2007.

PERIN FILHO, C. **Introdução à simulação de sistemas**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 1995.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RE, M.; BARROS, V. R. Extreme rainfalls in SE South America. **Climatic Change**, v. 96, n. 1, p. 119–136, 2009.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis an introduction**. 4 ed. Edition. New York: Springer. 2013.

RICHLING, A. **Landscape Research and its Applications in Environmental Management**. Varsóvia: University of Warsaw, 1994.

RODRIGUES, J. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. **Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

RODRIGUEZ, J. M. M. Análise e Síntese da Abordagem Geográfica da Pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, v. 9. 1994.

RODRIGUEZ, J. M. M, SILVA, E. V. Planejamento Ambiental como Instrumento na Incorporação de Sustentabilidade no Processo de Desenvolvimento: o caso do Ceará, Brasil. Mercator, **Revista de Geografia da UFC**, ano 3, n. 5, p. 67-71, 2004.

RODRIGUEZ, J. M. M. La Cuenca del Rio Quibú de la Provincia Ciudad de La Habana. *In:* RODRIGUEZ, J. M. M. (Org.). **Estructura Geográfico-ambiental y Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas Urbanizadas**. Cuba, La Habana: Editora Felix Varela, 2008. [atenção: a ou b?]

- RODRIGUEZ, J. M. M. **Planificacion Ambiental**. La Habana: Editorial Felix Varela, 2008.
- RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: BNB/UFC, 2010.
- ROSA, M.; SILVA, L. Alguns Aspectos Climatológicos da ZCIT sobre o Atlântico. **Revista Climanálise**, v. 37, n. 42, 2016.
- ROSS J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- ROUGERIE, G.; BEROUTCHATCHVILI, N. **Geosystemes et Paysages**. Paris: Colin Ed., 1991.
- SANTOS, C. A. C. dos; MELO, M. N. M. S.; BRITO, J. I. B. de. Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1-10, mar. 2016.
- SANTOS, F. R. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina de textos, São Paulo, 2004.
- SANTOS, Milena de Nazare Silva; DE LIMA, Aline Maria Meiguins. Análise Multitemporal das Mudanças na Cobertura da Terra de uma Bacia Hidrográfica na Costa Atlântica (Multitemporal Analysis of Land Use and Cover Changes of a River Basin in the Atlantic Coast of Brazil). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 139-149, fev. 2018. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234276/28972>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- SILVA, A. de B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, c2003. (Coleção Livro-Texto).
- SILVA, E. V. **Geocologia da Paisagem do Litoral Cearense: uma abordagem ao nível de escala regional e tipológica**. UFC, Tese para professor titular, Fortaleza, 1998.
- SILVA, M. J. D.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, V. S. D. O. Abordagem interdisciplinar sobre a influência da Zona de Convergência Intertropical — ZCIT no Nordeste brasileiro. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 6, n. 2, 2017.
- SILVA, P. E. da; Silva, C. M. S. E; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. M. B. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 137–148, 2019.
- SILVA, R.C. S. **Aplicação dos Métodos Geofísicos Elétrico e Eletromagnético na Determinação de Unidades Sedimentares Costeiras Tropicais em Bragança, Nordeste do Pará**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- SILVEIRA, M. I. da *et al.* O sítio Jabuti, em Bragança, Pará, no cenário arqueológico do litoral amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Humanas, [S. l.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1981-81222011000200006>. Acesso em: 20 jan. 2019

SIOLI, H. **Introduction**: History of the discovery of the Amazon and of research of Amazonian waters and landscapes. [S. l.: s. n.]. E-book. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_1. Acesso em: 20 jan. 2019

SIOLI, H.; SIOLI, H. **Amazônia**: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. [S. l.]: Instituto Max-Planck de limnologia, 1990.

SOARES JÚNIOR, A. V. **A fragmentação do gondwana na região meio-norte do brasil durante o mesozóico**. [s. l.]: PhD Thesis, 2007.

SOTCHAVA, V. B. **Introdução à Teoria dos Geossistemas**. Novosibirsk: Editora Nau Ka, 1978.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma Teoria da Classificação dos Geossistemas da Vida Terrestre**. IGEOG USP. N.14, 1978.

SOTCHAVA, V.B. **O estudo dos geossistemas**. São Paulo: USP. (traduzido da versão inglesa The Study of Geossystems). 1977.

SOUZA FILHO P. W. M.; PARADELLA, W. R. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. **Wetlands Ecology and Management**, n. 10, p. 123–32, 2002.

SOUZA FILHO P. W. M.; PARADELLA, W. R. Use of Synthetic Aperture Radar for Recognition of Coastal Geomorphological Features, Land-Use Assessment and Shoreline Changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Science**, n. 75, p. 341–56, 2003.

SOUZA FILHO, P. W. M. e.; EL-ROBRINI, M. Geomorphology of the Bragança coastal zone, Northeastern Pará State. **Revista Brasileira de Geociências**, [S. l.], 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303522526>. Acesso em: 20 jan. 2019

SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, Processos de Sedimentação e Litofácies dos Ambientes Morfo-Sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. **Geonomos**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 1996.

SOUZA FILHO, P. W. M.; MARTINS, E. S. F.; COSTA, F. R. Using mangroves as geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: an approach from remote sensing data and GIS. **Ocean & coastal management**, Netherlands, v. 49, n. 7-8, p. 462-475, 2006.

SOUZA FILHO, P. W. M.; TOZZI, H. A. M.; EL-ROBRINI, M. Geomorphology, Land-use and Environmental Hazards in Ajuruteua Macrotidal Sand Beach, Northern Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 35, p. 580-589, 2003.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Pará (Brasil). **Geonomos**, 4(2):1-16, Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 1996. Disponível em http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/4_2_01_16_SouzaFilho.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019

SOUZA, C. R. G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 2009.

SOUZA, L. C. de et al. Chemical and physical properties of an anthropogenic dark earth soil from Bragança, Para, Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201505663>. Acesso em: 20 jan. 2019

STIPP, Nilza A.F. (Org). **Macrozoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tibaji (PR)**. Londrina: Eduel, 2000.

TAYLOR, P. J. **Quantitative methods in Geography**: an introduction to spatial analysis. Boston: Houghton Mifflin Company, 1977.

TEODORO, T. A.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da banda dupla da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Oceano Atlântico. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 282-298, 2019.

THOMAS, R. W.; HUGGETT, R. J. **Modelling in Geomorphology**: a mathematical approach. London: Harper and Row, 1980.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. Rio Claro: Grafset, 1995.

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 1989. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

VANIER, C. **Planejamento e questão ambiental**: qual é o meio ambiente que queremos? ANFUR, Belo Horizonte, 1995.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2. ed. [s. l.]. PAX Gráfica e Editora Ltda, 2001.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira**: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical. Salvador: Projeto Radambrasil. 86 p. (Boletim técnico. Vegetação, n. 1), 1982.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa (MG): Ed. UFV, 2000.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 194-206, mês. 2016. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/102616>. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.102616>. Acesso em: 20 jan. 2019

VILAS BOAS, J. H. (Org.). **Projeto RADAMBRASIL**. Sítio Eletrônico dos Antigos Funcionários do Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1998-2012.

VILES, H.; SPENCER, T. **Coastal problems**: geomorphology, ecology and society at the coast. London: Edward Arnold, 1995.

WILLAMYS, R. N. de S.; SOUTO, M. V. S.; MATOS, S. S.; R. DUARTE, C. R.; SALGUEIRO, A. R. G. N. L.; SILVA NETO, C. A. da. Creation of a coastal evolution prognostic model using shoreline historical data and techniques of digital image processing in a GIS environment for generating future scenarios, *International Journal of Remote Sensing*, 2018. Disponível em: DOI: 10.1080/01431161.2018.1455240. Acesso em: 20 jan. 2019

WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation. World Meteorological Organization - WMO-No. 8 (2014 edition, Updated in 2017).

WRIGLEY, E. A. Demographic models and geography. *In*: CHORLEY, R.; HAGGETT, P. (Ed.). **Socio-Economic Models in Geography**. London: Ebenezer Baylis & Son, 1972. (first published in 1967). Disponível em: <http://goo.gl/czV7J>. Acesso em: 20 jan. 2019

WRIGLEY, E. A. Modelos Demográficos e Geografia. *In*: CHORLEY, R.; HAGGETT, P. (Coord.) **Modelos Sócio-Econômicos em Geografia**. Rio de Janeiro: LITEC/ EDUSP, 1975.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, v. 1.

ZAMBONI, A; NICOLODI, J. L. (Org.). **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.