



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
FACULDADE DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA

ANGELO BRUNO BATALHA SILVA

**ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO ARAGUARI, AMAPÁ**

BELÉM

2021

Angelo Bruno Batalha Silva

**ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO ARAGUARI, AMAPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Geografia, Faculdade de Geografia e Cartografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo

Belém

2021

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

-
- S586a Silva, Angelo Bruno Batalha.
Análise temporal da dinâmica ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio
Araguari, Amapá / Angelo Bruno Batalha Silva. — 2021.
48 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Alan Nunes Araújo
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Faculdade
de Geografia e Cartografia, Belém, 2021.
1. Dinâmica Ambiental. 2. Bacia Hidrográfica Rio
Araguari. 3. Google Earth Engine. I. Título.

CDD 910.02



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
FACULDADE DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No dia 17 do mês de junho do ano de dois mil e vinte e um por sala virtual do google meet, reuniu-se a Banca Examinadora para a Defesa Pública do Trabalho de Conclusão do Curso, conforme Resolução COGEO de número 01/96, de seis de janeiro de mil novecentos e noventa e seis, constituída pelos (os) professores (as): **ALAN NUNES ARAÚJO** (Orientador Presidente), professor **EDER MILENO SILVA DE PAULA**, e professor **AMINTAS NAZARETH ROSSETE**, para proceder ao exame do Trabalho de Conclusão do Curso de bacharelado em Geografia, do graduando **ÂNGELO BRUNO BATALHA SILVA**, intitulado **ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI NO AMAPÁ**. Iniciadas as atividades o Professor orientador concedeu a palavra ao graduando(a) para realizar a apresentação do seu trabalho. Após a apresentação os examinadores fizeram seus questionamentos, os quais foram respondidos pelo graduando. Em seguida os examinadores reuniram-se e atribuíram o conceito BOM. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente Ata que será assinada pelos membros da banca e o graduando. Belém, 17 de junho de 2021.

PROF. DR. ALAN NUNES ARAÚJO
Presidente - Orientador – UFPA

PROF. DR. EDER MILENO SILVA DE PAULA
Examinador Interno – FGC/UFPA

PROF. DR. AMINTAS NAZARETH ROSSETE
Examinador externo – UNEMAT

ANGELO BRUNO BATALHA SILVA
Discente da Faculdade de Geografia e Cartografia

Dedico esta, assim como as demais conquistas da minha vida, aos meus amados pais Marcia Marta Miranda Batalha e Antônio Maria dos Santos Silva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu uma nova oportunidade de vida para que pudesse dar orgulho às pessoas que investem e acreditam em mim.

Aos meus pais, que jamais desistiram de mim e que nunca mediram esforços para que eu pudesse continuar estudando independente de todas as dificuldades. Sou e serei eternamente grato por todo investimento, toda confiança e todo amor.

À minha namorada Carolina Sozinho, que nunca me abandonou e sempre cuidou de mim nos melhores e piores momentos me dando forças para continuar seguindo com todo seu amor, carinho e parceria.

Aos meus melhores amigos Fabrício Carrera e Regina Mata, por estarem ao meu lado há 15 anos e nunca me abandonaram, além de proporcionarem momentos inesquecíveis de muitos conselhos e risadas.

Ao meu orientador Alan Nunes Araújo, por assumir esse desafio e por jamais deixar que eu descreditasse do meu potencial, cobrando, mas sempre estendendo as mãos para dar esperança e motivação em um momento tão difícil como esse.

Ao professor José Edilson Cardoso Rodrigues, por acreditar em mim e estar presente desde o início da graduação. E a todos os meus amigos do GPECC, pelo aprendizado adquirido nesses anos e pela parceria de sempre. Serei eternamente grato.

Aos meus colegas de curso pelos bons momentos em toda a graduação, em especial a Mayara Guedes e Jorge Sales por toda ajuda e apoio concedidos.

Aos meus colegas Amintas Rossete e Joabe Lima por toda ajuda necessária para o desenvolvimento desta pesquisa, tal qual esta monografia.

À PRODEPA, por proporcionar minha primeira experiência de estágio fora da universidade, contribuindo para minha formação. Especialmente aos amigos que conquistei, Frederyco Elleres, Leonardo Alves, Lorena Góes, Flávio Alves e demais colegas da GTI.

A todos os professores da Faculdade de Geografia e Cartografia que contribuíram para minha formação.

Ao CNPq e PROPESP pela oportunidade da bolsa de iniciação científica que resultou nesta pesquisa.

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade e toda infraestrutura disponibilizada durante todo curso de graduação.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente nessa caminhada.

*“Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades,
Muda-se o ser, muda-se a confiança;
Todo mundo é composto de mudança,
Tomando sempre novas qualidades.”*

(Camões)

RESUMO

A Amazônia, é uma região rica em todos os aspectos, rica na sua formação natural rodeada por suas bordas pré-cambrianas e em seu vale holocênico que para além do maior rio em extensão e volume de água, também contempla a maior floresta tropical e biodiversidade, abrigando milenarmente também povos tradicionais que ajudaram a modelar este espaço, e que hoje dividem o mesmo território com o agronegócio, mineração, hidrelétricas, exploração florestal entre outros, muito em razão das políticas de ocupação da Amazônia no século XX e XXI. Estas políticas e o uso desenfreado dos recursos naturais acarretam impactos sendo muitos deles ainda desconhecidos. Neste sentido, a presente pesquisa teve como principal objetivo, analisar a dinâmica ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari no Amapá a fim compreender as interferências naturais e antrópicas que resultam na alteração da paisagem. Para este fim foram analisadas séries temporais de imagem de sensoriamento remoto, no período de 2000 a 2020, utilizando para isto a geração de índices de vegetação, através da plataforma Google Earth Engine. A partir da interpretação das imagens orbitais pudemos identificar que as maiores alterações na paisagem, ocorreram em áreas próximas ao exutório do Rio Araguari e na porção do médio Araguari onde se concentram atividades de pecuária e hidro energéticas, urbanização intensa e desmatamento.

Palavras-chave: Dinâmica Ambiental; Bacia Hidrográfica Rio Araguari; Google Earth Engine.

ABSTRACT

The Amazon is a region rich in all aspects, rich in its natural formation surrounded by its pre-Cambrian borders and in its Holocene valley which, besides the largest river in length and volume of water, also has the largest tropical forest and biodiversity, sheltering millennially also traditional peoples who helped build this space, and who today share the same territory with agribusiness, mining, hydroelectric dams, illegal deforestation, among others, much due to the policies of occupation of the Amazon in the twentieth and twenty-first centuries. These policies and the unbridled use of natural resources cause impacts, many of which are still unknown. In this sense, this research intends to analyze the environmental dynamics of the Araguari River Watershed in Amapá aiming to understand the natural and anthropic interferences that result in the landscape. To this end, we will work with time series of satellite images from 2000 to 2020 by means of indexes through the Google Earth Engine platform. From the maps we could identify that the greatest changes in the landscape, occurred in areas near the mouth of the Araguari River and in the middle Araguari where livestock and hydro-energy activities, population growth, intense urbanization and deforestation are concentrated.

Keywords: Environmental Dynamics; Araguari River; Google Earth Engine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa dos limites da Amazônia Legal.....	16
Figura 2 - Mapa de localização do Estado do Amapá	20
Figura 3 - Mapa de Luís de Teixeira de 1574 – Redesenhado por Regina Alonso.	21
Figura 4 - Vista aérea da ICOMI em Santana/AP.	22
Figura 5 - Mapa de localização da BHRA.....	25
Figura 6 - Etapas metodológicas da pesquisa.....	27
Figura 7 – Variáveis de importação de vetor e seleção de bandas	30
Figura 8 - Filtragem temporal.....	31
Figura 9 - Recorte para a área de estudo	31
Figura 10 - Geração de gráficos	32
Figura 11 - Download das imagens	32
Figura 12 - Índice NDVI entre 2000 e 2020.....	35
Figura 13 - Comparação entre cenários da BHRA	36
Figura 14 - Índice EVI entre 2000 e 2020.	37
Figura 15 - Mapas de índices de Evapotranspiração.	40
Figura 16 - Mapas de índices de Precipitação.	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo entre índices NDVI e EVI.	38
Gráfico 2 - Série temporal de Evapotranspiração 2000 a 2020.	39
Gráfico 3 - Série temporal da Precipitação de 2000 a 2020.	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

BHRA – Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

CHIRPS - *Clima Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A

EVI – Índice de Vegetação Melhorado

GEE – Google Earth Engine

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICOMI - Indústria e Comércio de Minérios S. A.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

PIN – Plano de Integração Nacional

PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite

RADAM – Projeto Radar da Amazônia

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

ZEE – Zoneamento Econômico Ecológico

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	FORMAÇÃO SOCIOECONÔMICA E SOCIOESPACIAL DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	15
	2.1 - AMAPÁ: FORMAÇÃO TERRITORIAL E POTENCIALIDADES	20
	2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÃO EM IMPACTOS AMBIENTAIS ..	24
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	25
	3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
	3.2 - ETAPAS DA PESQUISA E COLETA DE DADOS	27
	3.3 - SENSOR MODIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS E OBTENÇÃO DOS ÍNDICES	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
	4.1 – ANÁLISE AMBIENTAL DA BHRA A PARTIR DOS ÍNDICES NDVI E EVI.....	34
	4.2 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO	39
	4.3 – PRECIPITAÇÃO	41
5	CONCLUSÕES	43
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira a partir da colonização portuguesa vem sofrendo inúmeras atividades antrópicas que resultaram em diversos impactos ambientais negativos, como perda da biodiversidade, destruição de culturas nativas da região, alterações no ciclo hidrológico regional e nas mudanças climáticas globais. Dados do INPE (2020) apontam que de 1500 a 1970 apenas 2% da floresta amazônica havia sido devastada e quatro décadas depois (1970 a 2020) a Amazônia perdeu 20% de sua vegetação, marcando um desastre sem precedentes contra a maior floresta tropical do mundo.

Para Becker (2005), a mercantilização da natureza sob a perspectiva científico-tecnológica ao final do século XX, trouxe impactos socioeconômicos negativos para o bioma amazônico. Neste contexto geopolítico da região amazônica Porto-Gonçalves (2015), complementa ao dizer que a natureza vem sendo transformada através das relações sociais e de poder com a ajuda da tecnologia em seus mais variados ramos, desde a década de 1960 sob o sistema de produção capitalista.

O território amapaense no desenvolvimento da região amazônica, possui significativa importância, pois foram um dos primeiros Estados a receber investimentos tanto no setor energético quanto no setor mineral, investimentos estes que moldaram diretamente a cadeia produtiva e econômica do Amapá. Os principais investimentos, já como território federal, se iniciaram na década de 1950 com a criação da ICOMI no setor de mineração e posteriormente com a hidrelétrica de Coaracy Nunes que só entrou em funcionamento em 1976 através da ELETRONORTE.

Os estudos em torno das dinâmicas ambientais, alinhados ao Sensoriamento Remoto e às diferentes geotecnologias, representaram significativos avanços na obtenção, sistematização e análise dos mais variados dados ambientais. O uso de imagens de satélites, GPS, drones, *softwares* como ArcGIS e QGIS e mais recentemente plataformas de bases de dados geoespacial que utilizam linguagem de programação como o *Google Earth Engine*, configuram-se como um importante conjunto de ferramentas na consolidação de análises geográficas sobre o espaço.

Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo geral analisar a dinâmica ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - BHRA no Amapá visando compreender as interferências naturais e antrópicas que resultam na alteração da paisagem. Para consolidação da pesquisa, os objetivos específicos consistiram em:

- Sistematizar e correlacionar os índices de vegetação gerados com informações da BHRA para confeccionar layouts e gráficos;
- Analisar, a partir dos índices, a dinâmica vegetacional da área de estudo a fim de identificar os principais agentes atuantes dos impactos ambientais na área;
- Correlacionar os índices NDVI e EVI com dados de evapotranspiração e precipitação para compreender a influência da biomassa no ciclo hidrológico.

2 FORMAÇÃO SOCIOECONÔMICA E SOCIOESPACIAL DA REGIÃO AMAZÔNICA

Enquanto a Amazônia é palco de discussões sobre desenvolvimento sustentável, vale ressaltar que o processo de formação socioeconômica da região está diretamente ligado à persistência de uma visão colonialista sobre a região de que a mesma é um espaço vazio e carente de intervenção externa visando sempre o progresso, ainda que este cause desigualdades socioespaciais, exploração dos recursos naturais, desmatamento ilegal, poluição da fauna e flora, além de conflitos por terra (CASTRO; CAMPOS, 2015).

Diante disso, é de suma importância mencionar que o Bioma Amazônico extrapola os limites do território brasileiro, estando presente em outros países como Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela. No caso do Brasil, a partir das diretrizes político-administrativas oriundas da Lei 1806 de 6 de janeiro de 1953, quem dá suporte as políticas públicas voltadas à floresta amazônica é a Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM que define a Amazônia Legal (Figura 1) como sendo:

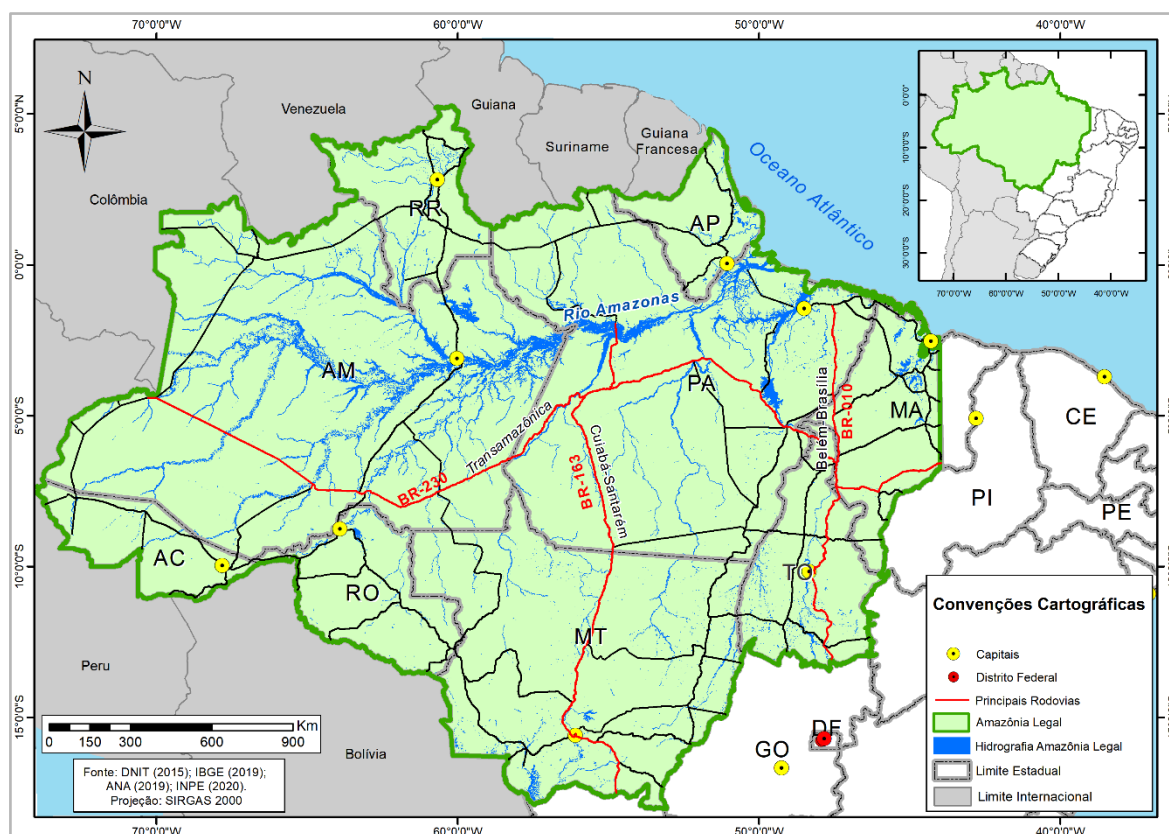
Um recorte espacial e administrativo criado pelo Governo Federal para fins de planejamento e intervenção econômica. A região possui área aproximada de 5,1 milhões de km² e corresponde a cerca de 59,1% do território nacional. A Amazônia abrange, em sua totalidade, os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia, Tocantins e, parcialmente, o Estado do Maranhão, a oeste do Meridiano 44° (SUDAM, 2018, p. 11).

Para Becker (2008), processo de formação socioeconômico da região se intensifica a partir dos anos de 1950 onde houve o processo de ocupação regional, demarcado pelo planejamento governamental com a formação do moderno aparelho de Estado e a sua crescente na economia e no território, planejamento este que está associado à criação da SUDAM. A autora complementa ao dizer que os olhares estavam voltados para a Amazônia, pois com as políticas de cunho nacionalista cria-se no imaginário social uma imagem de que a região era um ambiente inesgotável de matéria-prima e um lugar cheio de tesouros a serem descobertos.

Durante o regime militar, uma série de investimentos nacionalistas de interligação da Amazônia com o restante do país foram criados através das redes físicas, sejam elas ferrovias ou estradas pavimentadas. Este desejo de integracionista, no entanto, antecede o regime militar de 64, onde foram criadas a Ferrovia Madeira-Mamoré, concluída em 1914, e, na década de 50, com a construção das primeiras grandes rodovias, interligando as cidades de Belém e Brasília e Brasília até Rio Branco no Acre (NETO; NOGUEIRA, 2015).

Um dos lemas mais conhecidos deste período integracionista, “terra sem homens para homens sem terra”, foi referente ao processo migração de nordestinos, utilizado pelo governo para o local que era considerado um deserto verde, aliado ainda ao idealismo do tesouro de Eldorado (SOUZA, 2020).

Figura 1 - Mapa dos limites da Amazônia Legal



Fonte: IBGE (2019); INPE (2020); ANA (2019). Elaboração: Silva, 2021.

Neste sentido, o Plano de Integração Nacional (PIN) criado no governo Médici, pelo Decreto-Lei nº 1.106, de 16 de junho de 1970 (BRASIL, 1970), implementou grandes obras de infraestrutura nas regiões Norte visando a integração econômica da mesma com o restante do país. Seu grande marco foi a construção das rodovias Transamazônica e Santarém-Cuiabá que impactaram tanto nos aspectos econômicos e demográficos quanto simbólicos destas regiões, sendo assim um dos maiores projetos do país pautados sob o lema “integrar para não entregar”. Souza (1995), afirma que este projeto vai marcar na dimensão imaginária da Amazônia um caráter simbólico de conquista, pois, somado às ideias de progresso e desenvolvimento econômico daquela região, alimentará nos cidadãos comuns o desejo e o sonho de se viver em Eldorado e de alcançar a terra prometida.

Outras rodovias de importante relevância para o crescimento econômico da região amazônica foram a Belém-Brasília, Cuiabá-Porto Velho, Manaus-Boa Vista sendo as principais organizadoras deste espaço e as mais importantes vias de escoamento e avanço de atividades como pecuária e mineração, além de fornecer acesso aos produtos regionais. A criação destas rodovias, apesar da proposta de integração, trouxe diversos outros problemas que assombram até hoje populações tradicionais que vivem em seu entorno, desde desmatamento, comércio ilegal de madeira, conflito pela terra dentre outros consequências do PIN que não foi capaz de suprir as necessidades expostas pelo próprio programa exceto inflamar uma modernização e valorização da soberania nacional com a construção de uma nação mais unida.

Na década de 1940 a demografia da Região Norte possuía, segundo o IBGE, 3,5% da população nacional, sendo 27,7% habitantes de áreas urbanas. Já em 1950 o índice da população nacional em 3,5% permanece e a população urbana continua a crescer, chegando aos seus 31,5% e entre os anos 1950/1960. A tendência foi de crescimento representando um aumento acima da porcentagem nacional, onde a Região Norte ficou com 3,3% regional e a nacional com 3,0% estando somente abaixo da Região Centro-Oeste. Entre os anos de 1960/1970 foi de 3,5% e a nacional de 2,9%. Entre 1970/1980 ficou em 5,0% para a região e 2,5% nacional. Entre 1980/1991 foi de 3,8% regional e 1,9% nacional e entre os anos de 1991 a 2000 as médias ficaram em 2,9% regional e 1,6% nacional (PORTO, 2002).

Apesar das incoerências causadas pelo PIN, houve um marco científico-tecnológico importante neste período que foi a criação do projeto Radar na Amazônia (RADAM). Criado em outubro de 1970, o RADAM teve como objetivo um amplo estudo dos recursos naturais da região amazônica que na época possuía deficiência em relação ao mapeamento e conhecimento destes recursos marcando, portanto, um projeto pioneiro do governo federal com o Ministério de Minas e Energia e o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), pois na época, o uso do radar de visada lateral (SLAR – *side-looking airborne radar*) representou um grande avanço tecnológico na área da geotecnologia (ESCOBAR *et al.*, 2005).

Posteriormente, será criada a comissão do projeto RADAM que irá cartografar e realizar a coleta de dados sobre os recursos minerais, solos, vegetação, uso da terra e a cartografia da Amazônia cobrindo também áreas adjacentes do Nordeste. Segundo Escobar (2005), com os bons resultados do projeto, em julho de 1975, o mesmo é expandido para todo o território nacional buscando um mapeamento integrado e passando a se chamar Projeto RADAMBRASIL.

As características naturais da região, por apresentar uma grande extensão territorial, são compostas por uma diversidade de ecossistemas, traduzidas por diferentes tipos de vegetação, clima e solo. De acordo com a SUDAM (SUDAM, 2020, p.13) a região amazônica possui como unidades fitogeográficas predominantes áreas de florestas (floresta ombrófila, floresta estacional) combinadas com cerrados e outros tipos de vegetação. Além disso, os regimes climáticos amazônicos possuem um caráter diferenciado, onde a estação seca bem definida abrange 52% do território, mas 20% da região apresenta clima tropical chuvoso sem estação seca, enquanto o restante da área (28%) tem clima tropical chuvoso com período seco de até 90 meses (SUDAM, 2020).

Ab'Saber (2002) menciona que o domínio morfoclimático e fitogeográfico da Amazônia brasileira, além de possuírem uma vasta extensão de florestas dotadas pela alta biodiversidade, podem ser caracterizados em três categorias de especificidade:

- Ecossistemas contrastados de “terras firmes” do tipo enclaves de cerrados, ilhados no meio das grandes matas que podem ser explicados na Teoria dos Refúgios;
- Diferenciações intra-florestais, caracterizando-se pela presença de manchas de areia branca em terraços, várzeas, e interflúvios arenosos, ou pela demorada presença de águas de transborde em planícies de rios sujeitos a fortes oscilações de nível (tipos *campinarana e campinas*, e *igapó*);
- Ecossistemas extremantes localizados, originados em mini-refúgios nas paredes de “pães de açúcar” e lajedos, ou seu entorno; ou ocorrentes em íngremes barrancas de abrasão fluvial.

O autor complementa que estas características naturais da região têm proporcionado diferentes formas de desenvolvimento, e é categórico ao afirmar que conhecer os espaços e subespaços da região amazônica, se torna imprescindível para gerar sistemas de gerenciamento ecológico racionais e inteligentes a fim de beneficiar as comunidades tradicionais (AB'SABER, 2002).

Dentre as principais características, a hidrografia amazônica segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), possui uma extensa rede de rios com grande abundância de água, sendo os mais conhecidos: Amazonas, Xingu, Solimões, Madeira e Negro. A densidade populacional é 10 vezes menor que a média nacional que é de 23,8 habitantes por quilômetro quadrado, entretanto, a região concentra 81% da disponibilidade de águas superficiais do país,

onde cerca de 85% da área da região hidrográfica amazônica permanece com cobertura vegetal nativa. Para Bordalo (2017), diante de todas as bacias hidrográficas brasileiras, a bacia Amazônica é a que apresenta maior riqueza em sua composição hídrica, pois, apresenta diversos elementos que beneficiam a sociedade como um todo. Além da sua função fisiológica, a bacia representa o principal meio de transporte e de obtenção de energia e alimentos para as comunidades tradicionais.

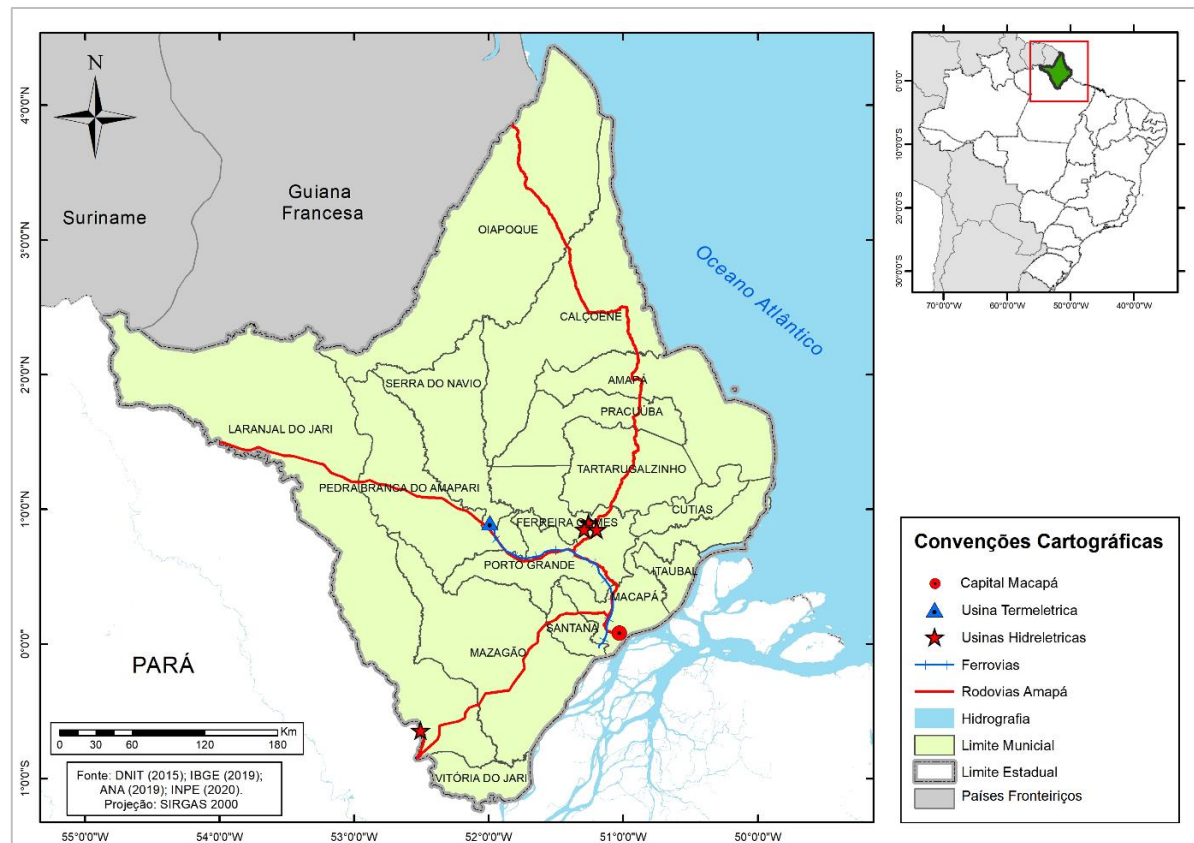
O modelo de desenvolvimento adotado pelo governo brasileiro para a região amazônica pode apresentar como consequência, mudanças climáticas, alteração do ciclo ecológico da floresta, intenso desmatamento advindo de atividades agrícolas, geração de energia com a construção de hidrelétricas como Tucuruí, Belo Monte, desapropriação de populações nativas, mineração e a implementação inadequada de infraestrutura. Segundo dados oficiais do INPE (2020) o desmatamento na Amazônia Legal em 2020 foi um valor estimado de 10.851 km², ou seja, um aumento de 9,5% em relação ao ano de 2019 que foi de 10.129 km², informações estas que foram obtidas através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES).

Consequente aos pressupostos teóricos abordados e das principais características citadas sobre a região amazônica, vale ressaltar a situação político-administrativa do estado do Amapá que configurou um importante papel na economia amazônica, além de compor o objeto de análise desta pesquisa.

2.1 - AMAPÁ: FORMAÇÃO TERRITORIAL E POTENCIALIDADES

O Estado do Amapá (Figura 2) está situado a nordeste da região Norte do Brasil, possui como fronteiras a Guiana Francesa ao norte, Suriname a noroeste, o oceano Atlântico a leste e o Estado do Pará a sudeste e está localizado à margem esquerda da foz do Amazonas, ocupando uma área de 142.828,521 km² (IBGE, 2013).

Figura 2 - Mapa de localização do Estado do Amapá



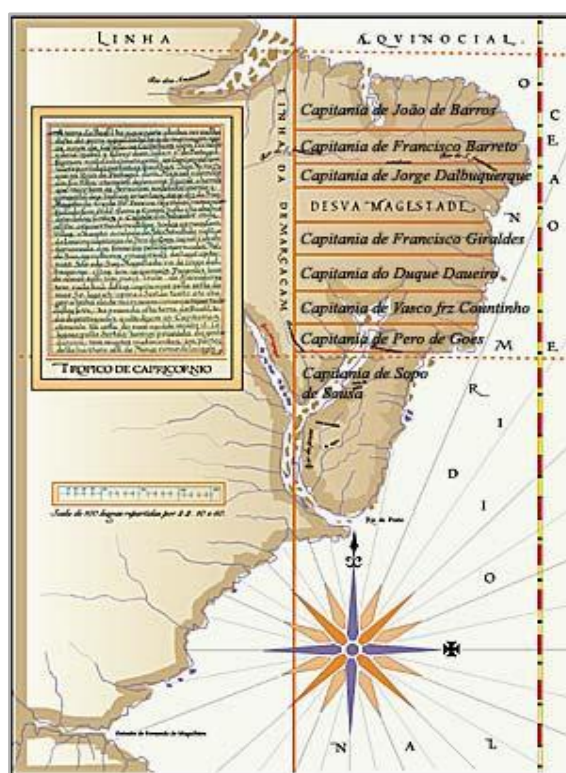
Segundo dados oficiais, o Estado possui uma população estimada em 861.773 habitantes e está dividido em 16 municípios e seus principais rios são Amazonas, Jari, Oiapoque, Araguari, Calçoene e Maracá. A economia baseia-se na extração da castanha da Amazônia (Castanha do Pará), da madeira e na mineração de manganês. O território amapaense também possui uma vasta diversidade de ecossistemas, resultantes de duas paisagens distintas, que Filocreão (2015) define como sendo:

- 1) domínio das formações florestadas (floresta densa de terra firme, floresta aluvial de várzeas ou de áreas inundáveis, mata de igapó e floresta de manguezais) ocupando mais de 80% do território; 2) domínio das formações campestres (cerrado e campo aluvial de várzeas) ocupando cerca de 16,7% do território amapaense (FILOCREÃO, 2015, p. 97).

A disputa acirrada pelo território amapaense remete aos tempos da colonização portuguesa e gerou grandes conflitos territoriais entre os portugueses e outros povos europeus (ingleses, holandeses, irlandeses) que não aceitavam a divisão imposta do novo mundo por Portugal e Espanha com o Tratado de Tordesilhas (Figura 3), tal disputa será resolvida com a criação de Belém, em 1616, como consequência de ações de expulsão e destruição dos fortes e assentamentos instalados por estes outros europeus (FILOCREÃO, 2014).

Segundo Araújo (2019), a localização estratégica do Amapá foi um dos importantes fatores para estes conflitos, onde por um longo tempo serviu de escoamento de produtos e recursos naturais da região amazônica (ouro, látex e madeira).

Figura 3 - Mapa de Luís de Teixeira de 1574 – Redesenhado por Regina Alonso.



Fonte: IBGE (2000).

Em 1942, após desmembrar-se do Estado do Pará, em 13 de setembro de 1943, pelo Decreto-Lei 5.812, é criado – junto com os territórios de Rio Branco, Guaporé, Ponta Porã e Iguaçu – o Território Federal do Amapá que se limitava pelo Atlântico, pelo Amazonas e também pelas fronteiras com as Guianas Francesa e Holandesa, e pelo Jari até a fronteira. O território se dividia em três municípios: Amapá, Macapá e Mazagão, sendo Amapá a capital. A primeira grande mudança foi da capital, naturalmente, se instalou no município de Macapá (SARNEY; COSTA, 2004). Após a criação do território, novos municípios foram surgindo –

Santana, Tartarugalzinho, Ferreira Gomes e Laranjal do Jari, sendo criados em 1987. Em 5 de outubro de 1988, os Territórios Federais de Roraima e do Amapá são transformados em Estados Federados.

O território amapaense apresenta uma rica biodiversidade de ecossistemas e seus recursos naturais são cobiçados por diferentes atores sociais, a partir de investimentos públicos diretos em infraestrutura, políticas de incentivo à participação de capital privado ou estatal com a oferta de incentivos fiscais. Uma das principais propostas governamentais que contribuiu para o planejamento econômico regional visando o incentivo e ampliação de infraestruturas na Amazônia foi a criação da Superintendência do Plano de Valorização da Amazônia (SPVEA), em 1953, tendo como primeira atividade econômica a exploração do manganês no Amapá que será beneficiada com a construção da estrada de ferro Serra do Navio em Macapá junto à implantação do porto da Indústria e Comércio de Minérios S.A. – ICOMI (Figura 4), a fim de consolidar e garantir o fornecimento desse minério à siderurgia norte-americana marcando por mais de meio século a intensa exploração mineral desta região (PORTO, 2002).

Figura 4 - Vista aérea da ICOMI em Santana/AP.



Fonte: Site Biblioteca IBGE.

A ICOMI possui historicamente um importante papel na formação socioespacial e socioeconômica do território amapaense, sendo a primeira experiência de mineração industrial na Amazônia. Marques (2009) faz um breve levantamento histórico de atuação da empresa que, em 1945, após ser anunciada a descoberta de reservas de ferro no rio Vila Nova e de manganês na Serra do Navio, consegue uma licitação para exploração de manganês tendo as primeiras

exportações do mesmo em 1957 constituindo, portanto, o início de um importante elemento da economia amapaense (MARQUES, 2009).

Em contraponto a este cenário econômico promissor que se consolidava sistematicamente ao longo do tempo em várias partes do mundo, Monteiro (2003) afirma que as atividades minero metalúrgicas da empresa na região não foram capazes o suficiente de alavancar os processos de modernização e desenvolvimento econômico da região amapaense.

Além do potencial em minérios, o território amapaense possui um enorme potencial energético em seus rios que, conseqüentemente, gera desequilíbrios e diversos outros danos ambientais seja com a construção de hidrelétricas, agricultura, pela abertura de estradas, pela urbanização ou outros processos que transformam a paisagem. Para Araújo (2019) a utilização destes recursos hídricos:

[...] ocorre em função dos padrões naturais de controle, gerados ao longo dos processos evolutivos da paisagem. No entanto, mesmo sendo uma das principais alternativas no cenário brasileiro para geração de energia em detrimento do potencial hídrico e geomorfológico brasileiro, ainda causa enormes danos para as populações tradicionais e para o ecossistema local (ARAÚJO, 2019, p. 204).

A implantação de grandes projetos, sobretudo, voltados para a questão mineral, em muito, está associada aos problemas ambientais da Amazônia, envolvendo grupos ambientalistas que, no intuito de preservar os recursos naturais, vêm cada vez mais se organizando no campo social. Neste sentido, é através dos processos econômicos no espaço amazônico que diferentes atores sociais contribuem de maneira significativa para novas relações socioambientais que têm se implantam no território amapaense (PALHETA DA SILVA, 2013).

O potencial hidroelétrico do Estado do Amapá tem sido um dos recursos que mais se destacam, pois, a geração de energia aliada ao cenário nacional e internacional, configuram a este território uma posição estratégica. Os estudos para viabilidade da construção da UHE de Coaracy Nunes, se iniciaram ainda na década de 1950, no entanto, apenas em 1960 foram finalizados por meio de assinatura de contrato entre o Governo do Território Federal do Amapá (GFTA) e a empresa TECHINT, empresa localizada em Milão na Itália (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo Chagas (2015), além da UHECN, outras duas usinas foram construídas como forma de potencializar usinas antigas e interligar a geração de energia, sendo elas as hidrelétricas Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão. Entretanto, para Monteiro (2016), o modelo siderúrgico adotado para a região amazônica ainda é baseado em estruturas arcaicas, que beneficia diretamente grandes projetos, gerando impactos diretos que atingiram as

populações a montante e a jusante das obras das UHE, seja com a desterritorialização das comunidades que lá existiam, seja com alagamento das margens dos rios.

2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÃO EM IMPACTOS AMBIENTAIS

Diante do avanço tecnológico de diversas áreas científicas, sobretudo a geográfica e as ambientais que atualmente contam com um importante aliado para obtenção de imagens de satélite, mapeamento e detecção de queimadas e/ou desmatamento, cálculo e sistematização dos impactos gerados no meio ambiente, em sua maioria causados por empreendimentos tanto privados quanto públicos.

Para Lima e Martinelli (2008), os estudos das dinâmicas ambientais que visam compreender as relações existentes entre a sociedade e natureza de forma integradora e holística, devem se preocupar não somente em identificar as complexas mudanças e impactos causados pela intervenção humana, mas também, encontrar uma forma de recuperar esses problemas ambientais.

A cartografia ambiental, neste sentido, como importante segmento da Cartografia temática atua gerando mapas de síntese a partir da sistematização e obtenção de dados analíticos sobre o meio biótico e abiótico, dando origem às cartas ambientais que servem, sobretudo, como base de verificação e reflexão de questões relacionadas ao meio ambiente e sociedade (SOUZA, 2009).

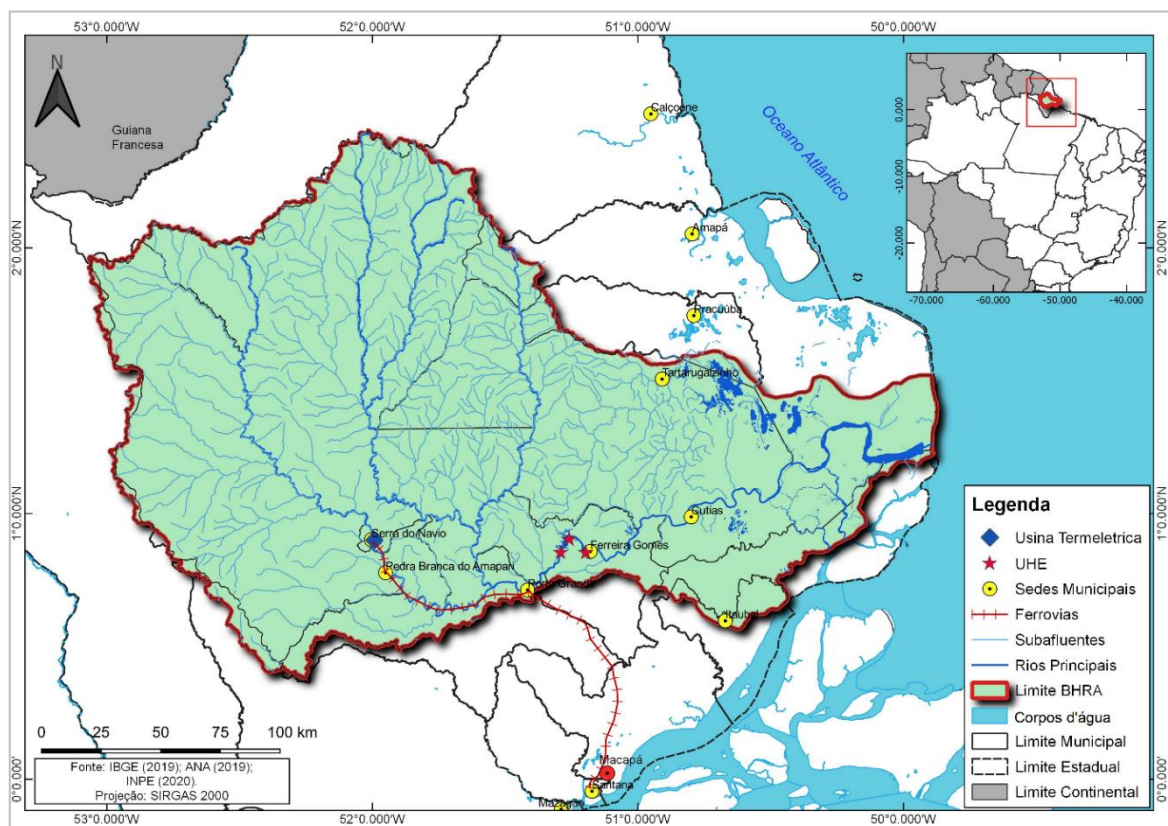
Deste modo, com o constante avanço e aprimoramento dos instrumentos utilizados na aquisição e processamento de dados espaciais, torna-se necessária a utilização de novas tecnologias com a finalidade de representar e quantificar áreas da superfície terrestre que auxilie diagnósticos finais sobre o meio ambiente, uma vez que estas tecnologias estão cada vez mais dinâmicas. Diante desta perspectiva científica o foco principal da multidisciplinariedade atuante no meio ambiente, tem sido compreender a distribuição espacial dos fenômenos ocorridos no espaço (CÂMARA *et al.*, 2001).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (Figura 5) é a maior bacia do Amapá, está localizada na porção central do Estado entre as latitudes 0° 30' N e 1° 30' N e as longitudes 51° 03' W e 52° 30' W, sua extensão é de aproximadamente 43.560km² sendo o maior curso d'água em volume e extensão do Amapá com 300 km de extensão, além de possuir uma descarga média de 1.200m³/s (ARAÚJO 2019; SANTOS, 2012).

Figura 5 - Mapa de localização da BHRA



Fonte: CPRM (2012); IBGE (2019); ARAÚJO (2019). Elaboração: Silva, 2021.

A bacia abrange ao todo 11 municípios, sendo eles: Amapá, Calçoene, Cutias, Ferreira Gomes, Itaubal do Piririm, Macapá, Pedra Branca do Amapari, Porto Grande, Pracuúba, Serra do Navio e Tartarugalzinho. Na porção central do Rio Araguari encontram-se as usinas hidrelétricas Coaracy Nunes (UHECN), Ferreira Gomes (UHEFG) e Cachoeira Caldeirão (UHECC) e é composta por uma diversidade físico-ambientais, seja pela presença de colinas, de planaltos residuais e de planícies fluviais, no alto curso do rio, seja pela presença de tabuleiros costeiros, de planícies fluviolacustres e fluviomarinhas, além dos paleoambientes, no

médio e baixo curso do Araguari, que somadas às características climatológicas, geológicas, hidrológicas, de solos e de vegetação, formam sistemas geoambientais diferenciados (ARAÚJO, 2019, p. 25).

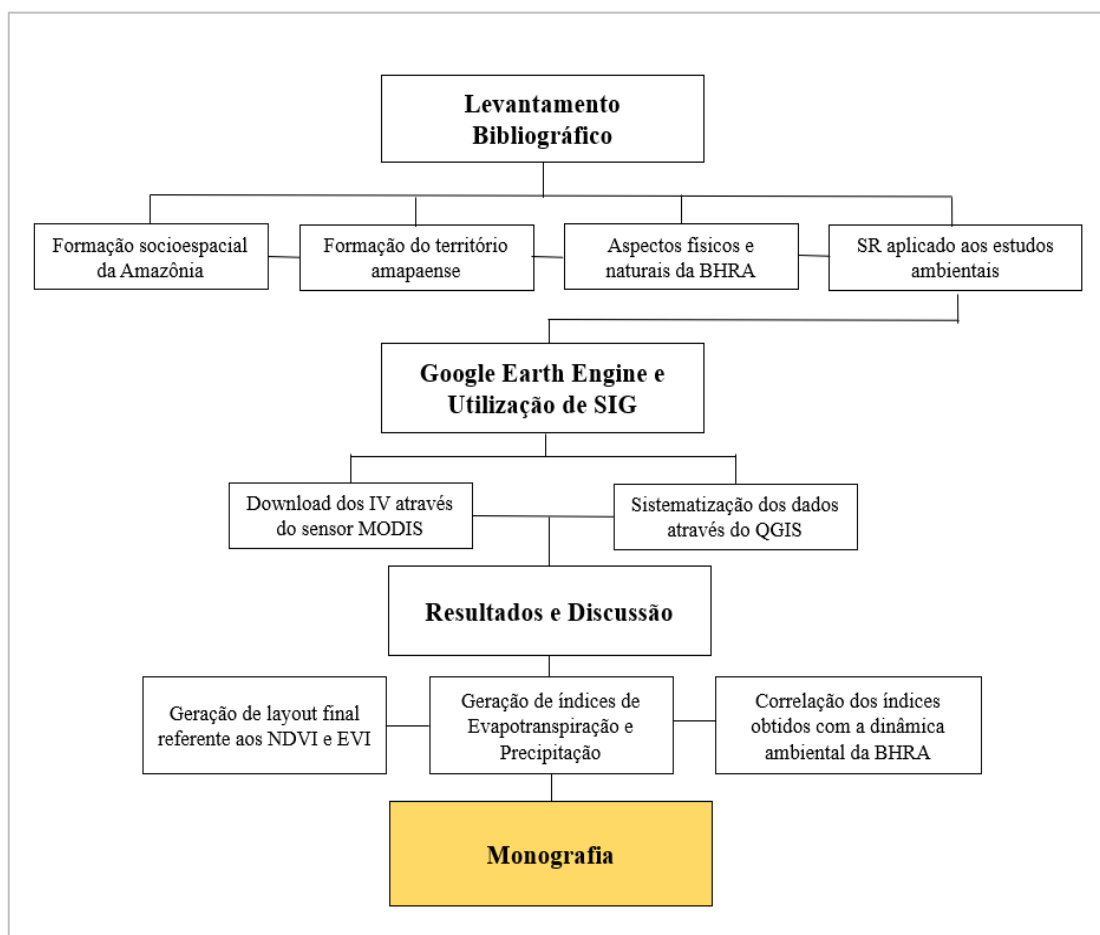
Segundo Araújo (2019), o rio Araguari tem sua nascente localizada nos limites do Parque Nacional do Tumucumaque, estando inserida em outras Unidades de Conservação como a Floresta Nacional do Amapá e Floresta Estadual do Amapá. O clima local da BHRA apresenta rápida variação pluviométrica, e configura-se como importante agente influenciador nos processos morfogênicos e pedogênicos ao longo da bacia.

Dentre as principais atividades econômicas em âmbito estadual, o segmento comercial e de serviços possui maior parcela de participação, em detrimento do funcionalismo público no setor terciário. Já no setor primário, as atividades que mais se destacam são o cultivo de laranja e a criação de gado bovino, bubalino e suíno. Além destas, a piscicultura também apresenta uma variedade em relação às espécies como, o tucunaré, sarda, acará, entre outros (SEPLAN, 2017).

3.2 - ETAPAS DA PESQUISA E COLETA DE DADOS

As etapas metodológicas (Figura 6) que compõem o corpo técnico desta pesquisa iniciam a partir do levantamento bibliográfico sobre os impactos socioambientais causados na região amazônica através dos grandes projetos como, desmatamento, mineração e hidrelétricas. Posteriormente, diante do grande volume de informações espaciais disponíveis por órgãos oficiais, houve a organização do banco de dados vetoriais em formato *shapefile* referentes ao limite nacional, estadual e de delimitação da BHRA, além de informações sobre a hidrografia.

Figura 6 - Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atualmente, os trabalhos que envolvem técnicas de sensoriamento remoto podem recorrer a diversos softwares para a geração de representação cartográfica dos dados obtidos. Nesta pesquisa recorreremos ao uso do QGIS 3.18 para geração dos layouts finais referentes aos mapas de localização e aos índices referentes aos resultados, além da plataforma *Google Earth Engine - GEE*, que conta com o processamento digital por meio da linguagem de programação *Java Script* e *Python*.

3.3 - SENSOR MODIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS E OBTENÇÃO DOS ÍNDICES

Durante décadas houve um imprescindível aumento de projetos científicos voltados para análise e projeção de impactos ambientais, sobretudo de mudanças climáticas. A partir do projeto “*Earth Observing System*” (EOS) foram lançados diversos satélites, sendo o primeiro, o satélite TERRA que foi lançado em dezembro de 1999 iniciando sua coleta de dados apenas em fevereiro de 2000. O segundo satélite a ser lançado foi o AQUA, em maio de 2002. A NASA, portanto, com o intuito de construir modelos de dinâmica global para entender e prever possíveis danos causados nos ecossistemas, desenvolveu novos instrumentos de coleta destes dados, a exemplo, o sensor MODIS (Quadro 1).

O MODIS foi desenvolvido para satisfazer os três principais objetivos deste campo de estudo: atmosfera, oceano e terra com diferentes bandas de resolução espectral e espacial que compõem a cobertura global (JUSTICE et al., 2002).

Quadro 1 - Especificações do sensor MODIS

Órbita	705 Km, síncrona com o Sol, polar. 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente.
Alcance Espectral	0.4-14.4 μm
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$, 2330 km em fileira (“scans” contínuos em nadir no equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, $<3\mu\text{m}$; 1% Absoluto, $>3\mu\text{m}$; 2% de reflectância
Cobertura de Repetição	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Quantização	12 bits
Taxa de Dados	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)
Força	162.5 W (média para uma órbita), 168.5 W (pico)

Adaptada de Barker *et al.* (1992, p.34) e Justice *et al.* (2002, p. 4).

Vale ressaltar que este sensor tende a aperfeiçoar sistemas como o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) que é utilizado em monitoramento meteorológico e de temperatura, tendo em vista que este consegue rastrear e analisar um amplo conjunto de sinais

vitalis da Terra (King et al., 1992). Embora o AVHRR seja um sensor com baixa resolução espacial, sua longa série temporal a partir da alta resolução temporal, tornam estes dados um importante banco de informações relacionados com a cobertura de grandes áreas (HUETE *et al.*, 1997).

Diante disso, a partir do Quadro 1 podemos observar que as primeiras 19 bandas pertencem à porção refletida do espectro eletromagnético (405nm a 2155nm), onde as 1-7 são direcionadas para aplicações terrestres; as bandas 8-16 para observações oceânicas; e as bandas 17-19 são referentes para medições atmosféricas. Já as bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) (BARKER *et al.*, 1992).

Para gerar as séries temporais, através da plataforma GEE, utilizaram-se duas bandas do sensor MODIS do satélite americano TERRA da NASA, sendo estas bandas referentes ao índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação melhorado (EVI). O primeiro analisa e mensura a resposta espectral da atividade fotossintética de cada pixel nas bandas dos canais vermelho e infravermelho próximo, resultando em um denominador final com valor entre -1 e 1, portanto, quanto mais próximo de 1, maior é a atividade vegetativa no local representado pelo pixel. O NDVI é representado pela seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}})$$

Sendo:

ρ_{IVP} = reflectância da radiação no infravermelho próximo (banda 2 do sensor MODIS);

ρ_{V} = reflectância da radiação no vermelho (referente à banda 1 do sensor MODIS).

E o segundo, EVI, foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de regiões que apresentam maiores índices de densidade de biomassa através da ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (LATORRE *et al.*, 2003. p. 22). O EVI pode ser representado através da equação:

$$\text{EVI} = G * (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + C1 * \rho_{\text{V}} - C2 * \rho_{\text{A}} + L)$$

Sendo:

G = fator de ganho, assumindo geralmente o valor de 2,5;

ρ_{IVP} = reflectância do infravermelho próximo (referente à banda 2 do sensor MODIS);

ρ_{V} = reflectância do vermelho (referente à banda 1 do sensor MODIS);

ρ_A = reflectância na banda espectral azul (banda 3 do sensor MODIS);

L = ajuste de fundo do dossel vegetal (L=1);

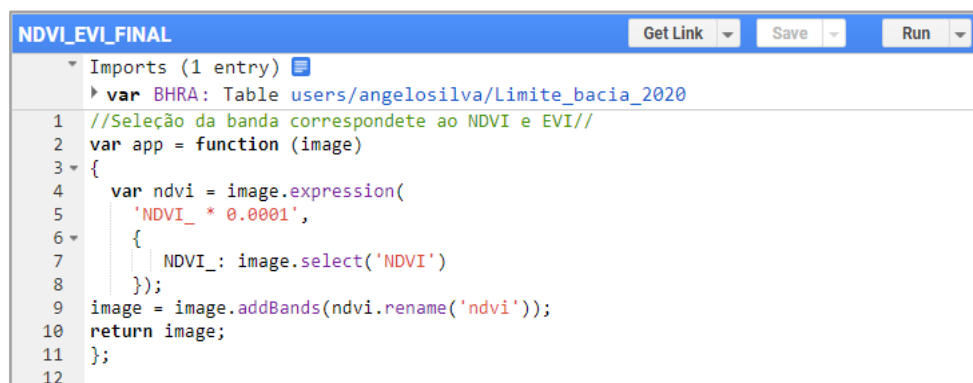
C1 e C2 = referem-se ao coeficiente de ajuste da influência dos aerossóis (C1=6; C2=7,5).

Ainda segundo Latorre (2003), os índices NDVI e EVI fornecem informações consistentes de dados temporais e espaciais das condições atmosféricas de modo global a fim de dar um importante suporte nas análises e interpretações sobre a biomassa global. Os principais objetivos destes produtos são:

- Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- Maximizar a cobertura temporal na resolução espacial mais fina possível;
- Padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo;
- Assegurar a qualidade e a consistência dos dados;
- Descrever e reconstituir dados de variações fenológicas;
- Discriminar com precisão variações interanuais na vegetação (LATORRE *et al.*, 2003. p. 112 e 113).

Diante do exposto, a partir do GEE, importamos a variável (var) do tipo *FeatureCollection* referente ao limite da área de estudo em formato *shapefile* que chamaremos de “BHRA” que será utilizada para as análises do sensor MODIS do satélite global TERRA com resolução espacial de 250 metros e coletas de 16 em 16 dias (Figura 7). Após esta etapa, criou-se a variável “*ndvi*” junto da expressão “NDVI_ *0.0001” para correção dos valores e obtenção dos valores médios que serão mostrados nos gráficos finais.

Figura 7 – Variáveis de importação de vetor e seleção de bandas



Elaboração: Silva, 2021.

Posteriormente, realizamos a filtragem das datas por meio da função “*filterDate*” para coleta dos índices de vegetação (Figura 8), selecionando um período de aproximadamente 20 anos de análise entre os anos de 2000 a 2020. Neste sentido, criamos duas variáveis, sendo estas para o NDVI no período de 2000 a 2020 e que serão utilizadas para gerar o EVI, também para o mesmo período.

Figura 8 - Filtragem temporal

```

13 // Seleção de datas//
14 var NDVI_2010 = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1')
15     .filterDate('2000-02-18','2010-12-31')
16     .map(app)
17     .select('ndvi');
18
19 var NDVI_2020 = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1')
20     .filterDate('2011-01-01','2020-12-31')
21     .map(app)
22     .select('ndvi');
23

```

Elaboração: Silva, 2021.

Feito este filtro temporal, os dados passarão, agora, a representar análises dos índices dentro da área de estudo a partir da variável “*clip (BHRA)*”. De acordo com os padrões de cores determinados pela *Google Earth Engine* para índices de vegetação (Figura 9), nesta seção criamos uma variável denominada de “*custom_palette*” para a representação cartográfica do NDVI. Posterior a isto, representamos a partir da função “*Map.addLayer*” os mapas referentes aos índices supracitados.

Figura 9 - Recorte para a área de estudo

```

24 //Paleta de Cores//
25 var custom_palette =
26 [ 'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718', '74A901',
27   '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01',
28   '012E01', '011D01', '011301'];
29
30 Map.addLayer(NDVI_2010.mean().clip(BHRA),
31   {min: 0, max: 1, bands: ['ndvi'], palette: custom_palette}, 'NDVI_2010');
32 Map.addLayer(NDVI_2020.mean().clip(BHRA),
33   {min: 0, max: 1, bands: ['ndvi'], palette: custom_palette}, 'NDVI_2020');
34

```

Elaboração: Silva, 2021.

Para consolidação das informações obtidas, é importante mensurar estes dados por meio de gráficos e, para isso, utilizamos os códigos padrões que elaboram estes gráficos e nos ajudam a ter uma visão ainda mais sistemática sobre o produto final.

Nesta etapa (Figura 10), por meio da variável “*chart*”, utilizamos a função de seleção “*ui.Chart.image.seriesByRegion*”, que trabalha com séries temporais de determinada região bastando apenas que se identifique as diferentes bandas a serem trabalhadas, neste caso, as bandas NDVI e EVI do sensor MODIS com a variável já citada. Os gráficos foram construídos a partir dos seguintes comandos:

Figura 10 - Geração de gráficos

```

35 //Time
36 var chart = ui.Chart.image.seriesByRegion({
37   imageCollection: NDVI_2010,
38   regions: BHRA,
39   reducer: ee.Reducer.mean()
40 });
41 print(chart);
42 var chartII = ui.Chart.image.seriesByRegion({
43   imageCollection: NDVI_2020,
44   regions: BHRA,
45   reducer: ee.Reducer.mean()
46 });
47 print(chartII);

```

Elaboração: Silva, 2021.

Após isso, utilizamos o código da região de interesse “BHRA” com a descrição “*region*”, para então identificar a função relacionada às médias geradas pelo gráfico “*ee.Reducer.mean*” e acrescentar a resolução espacial do satélite, 250 metros. Por fim, criamos a função “*Export.image.toDrive*” para exportar as imagens (Figura 11) no formato “TIFF” (nesse caso, *raster*) para posteriormente classificá-las e determinar as classes utilizadas na referida análise com o uso de softwares livres.

Figura 11 - Download das imagens

```

50 // Exportar imagens
51 Export.image.toDrive({
52   image: NDVI_2010.median().select('ndvi').clip(BHRA),
53   description: 'NDVI_2000_2010',
54   region: BHRA,
55   scale: 250,
56   crs: 'EPSG:4326',
57   folder: 'NDVI_FINAL',
58   maxPixels: 1e13});
59
60 Export.image.toDrive({
61   image: NDVI_2020.median().select('ndvi').clip(BHRA),
62   description: 'NDVI_2011_2020',
63   region: BHRA,
64   scale: 250,
65   crs: 'EPSG:4326',
66   folder: 'NDVI_FINAL',
67   maxPixels: 1e13});

```

Elaboração: Silva, 2021.

Para a cartografia dos dados obtidos, utilizamos o *software* QGIS 3.18 adicionando dados vetoriais referentes ao limite da área de estudo, limite municipal, estadual, federal e continental para delimitar países que fazem fronteira com o Estado do Amapá, além dos vetores referentes à hidrografia.

A partir da organização dos dados vetoriais, realizamos a classificação das imagens dos índices em formato *raster* para definirmos o menor valor e máximo tendo, portanto, o gradiente específico de cores para cada classe utilizada nas imagens acima referidas. Por fim, utilizamos

o gerenciador de camadas do próprio *software* para junção destes dados vetoriais a fim de sistematizar e gerar os layouts finais para exportação.

Considerando a importância e influência do ciclo hidrológico para o meio ambiente onde a transpiração e evapotranspiração influenciam diretamente na qualidade da vegetação e do ar, realizamos uma série temporal do ano de 2000 a 2020 a partir do conjunto de dados do *TerraClimate*.

O *TerraClimate* configura-se como um conjunto de dados de clima mensal e de balanço hídrico climático que atua na superfície terrestre global, utilizando interpolação auxiliada pelo clima, combinando normais climatológicas de alta resolução espacial do conjunto de dados *WorldClim*. Além disso, este produz conjuntos de dados mensais de balanço de água da superfície usando o modelo de balanço de água que incorpora evapotranspiração de referência, precipitação, temperatura e capacidade de água do solo extraível de planta interpolada (Abatzoglou *et al.*, 2017). Para gerar os mapas de precipitação para a área de estudo utilizamos o conjunto de dados CHIRPS Daily: *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* versão 2.0. O CHIRPS configura-se como um conjunto de dados de precipitação global com mais de 30 anos de coletas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – ANÁLISE AMBIENTAL DA BHRA A PARTIR DOS ÍNDICES NDVI E EVI

A cobertura vegetal configura como importante fator na manutenção dos recursos naturais. Sendo assim, a vegetação cumpre um papel essencial na manutenção do ciclo hidrológico, protegendo o solo contra os impactos causados pelas gotas da chuva (efeito *splash*), aumentando, também, a porosidade e a permeabilidade do solo através das raízes, reduzindo o escoamento superficial e contribuindo para a fertilidade do solo com a presença de matéria orgânica (BELTRAME, 1994, p. 14).

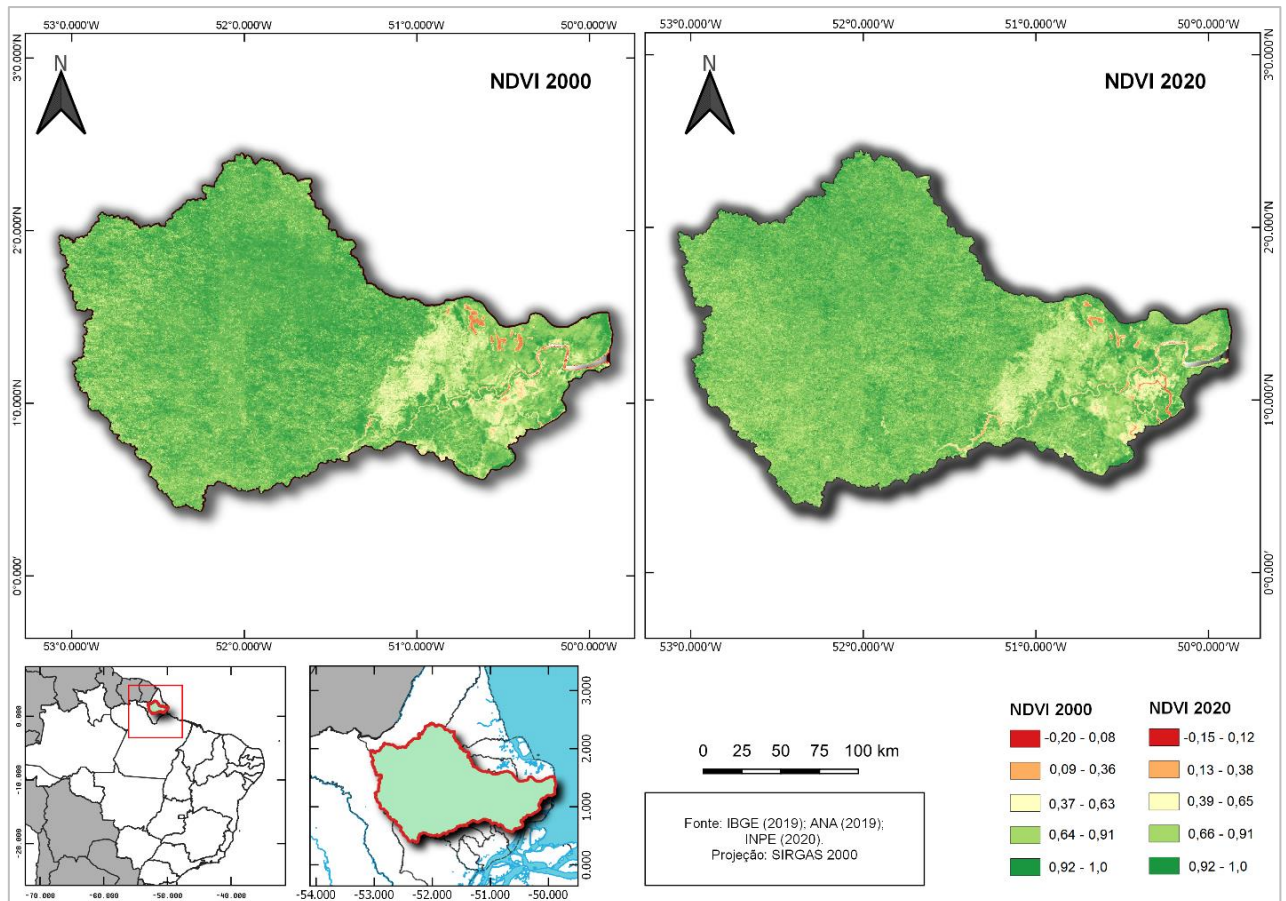
Com isso, analisar a densidade vegetacional, tal qual sua espacialidade, torna-se um importante mecanismo para pesquisas relacionadas à degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico da dinâmica do espaço agrário, entre outras, sobretudo quando se utiliza bacia hidrográfica como parâmetro espacial de análise (MELO, 2008).

Para melhor compreender a dinâmica vegetacional da área de estudo, de acordo com os valores obtidos, determinamos 5 classes de análise (Corpos d'água; bancos de areia; área antropizada; vegetação secundária e vegetação densa). Diante disso, como resultado das etapas supracitadas de obtenção e sistematização dos dados, os índices demonstraram tendências distintas nos períodos selecionados para o objetivo desta pesquisa (Figura 12).

No primeiro momento da análise, no ano de 2000, obtivemos os intervalos de -0,20 a 0,08 para corpos d'água; 0,09 a 0,36 para bancos de areia; 0,37 a 0,63 para áreas antropizadas; 0,64 a 0,91 para vegetação secundária e 0,92 a 1,0 para vegetação densa. Neste período, havia uma grande porção de vegetação densa e áreas pouco modificadas, sendo percebidas pelos tons verdes escuros do mapa localizadas a oeste no alto e médio Araguari em áreas pertencentes a unidades de conservação, como o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, Floresta Nacional do Amapá e terras indígenas como a Wajãpi.

Para o segundo período de análise no ano de 2020, o cenário se apresenta como outro e as mudanças ocorridas na área de estudo puderam ser percebidas, bem mais nitidamente onde para corpos d'água obtivemos um aumento de -0,15 a 0,12; para bancos de areia 0,13 a 0,38; para áreas antropizadas 0,39 a 0,65; vegetação secundária 0,66 a 0,91 e para vegetação densa 0,92 a 1,0.

Figura 12 - Índice NDVI entre 2000 e 2020.

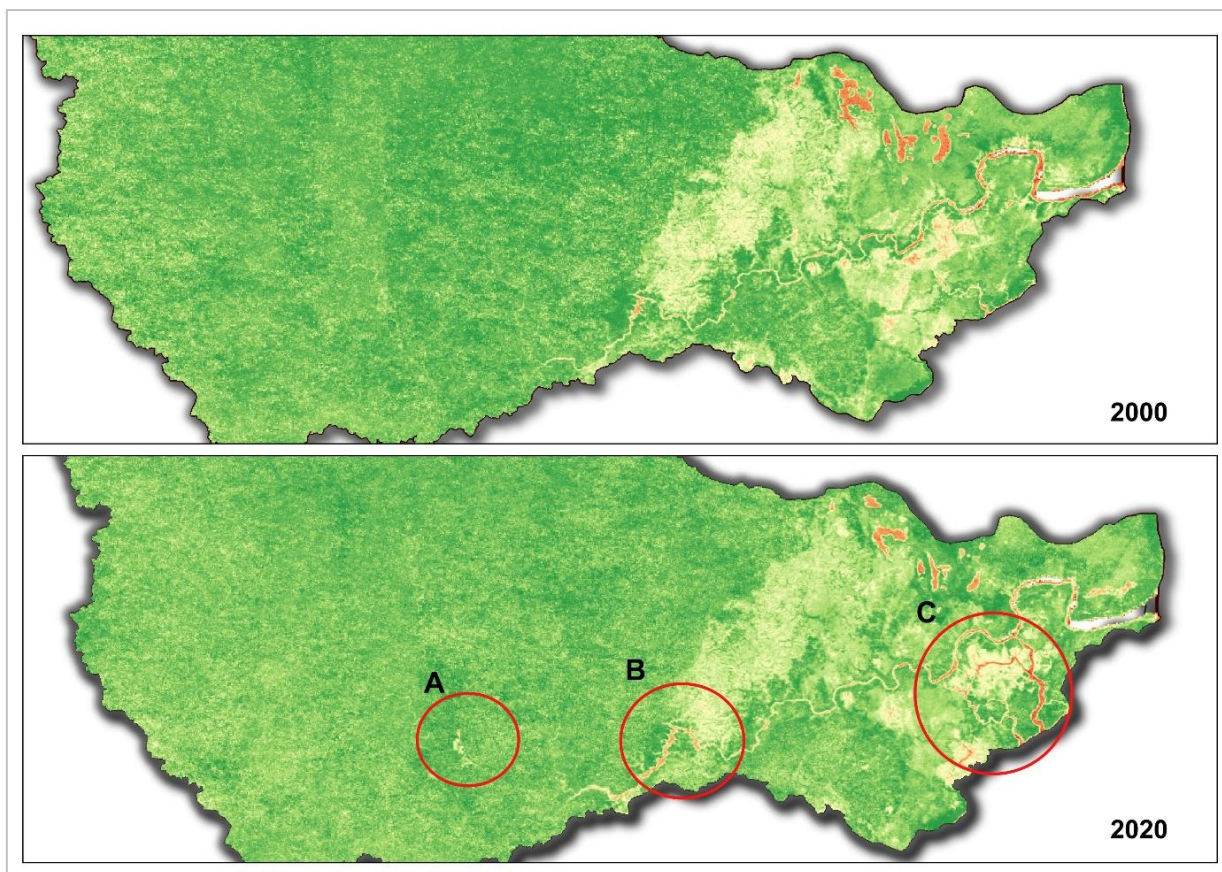


Elaboração: Silva, 2021

Nos mapas acima, podemos destacar algumas mudanças na paisagem representadas por manchas mais claras referentes a áreas antropizadas e a corpos d'água, sobretudo em regiões que estão próximas ao exutório da BHRA no baixo Araguari em planícies inundáveis recobertas por campos com áreas de floresta densa. Nas imagens também podemos destacar a grande cobertura florestal localizada no alto Araguari em áreas de planaltos residuais e de áreas colinosas revestidas por florestas densas (ARAÚJO, 2019).

O grande potencial econômico e turístico da bacia do Araguari configura-se como importante força motriz de geração de investimentos para a área, seja com a construção de UHE, pecuária, bubalinocultura, entre outras, mas que, no entanto, trouxe alguns impactos advindos de atividade antrópica para a área de estudo (Figura 13).

Figura 13 - Comparação entre cenários da BHRA



Elaboração: Silva, 2021.

Nas áreas em destaque, identificamos a construção da Mina Tucano (A) localizada na Serra do Navio, distrito de Pedra Branca do Amapari. Desde 2012 a mina é responsável por extração de ouro no estado do Amapá. Além disso, no trecho do Rio Araguari (B) localizam três usinas hidrelétricas, Coaracy Nunes, Cachoeira Caldeirão e Ferreira Gomes que, apesar de suprir a questão energética do Estado, apresenta diversas consequências na fauna e flora do local, além de impactos como remoção de famílias das áreas alagáveis, aumento de vazão do rio, surtos de malária, dentre outros.

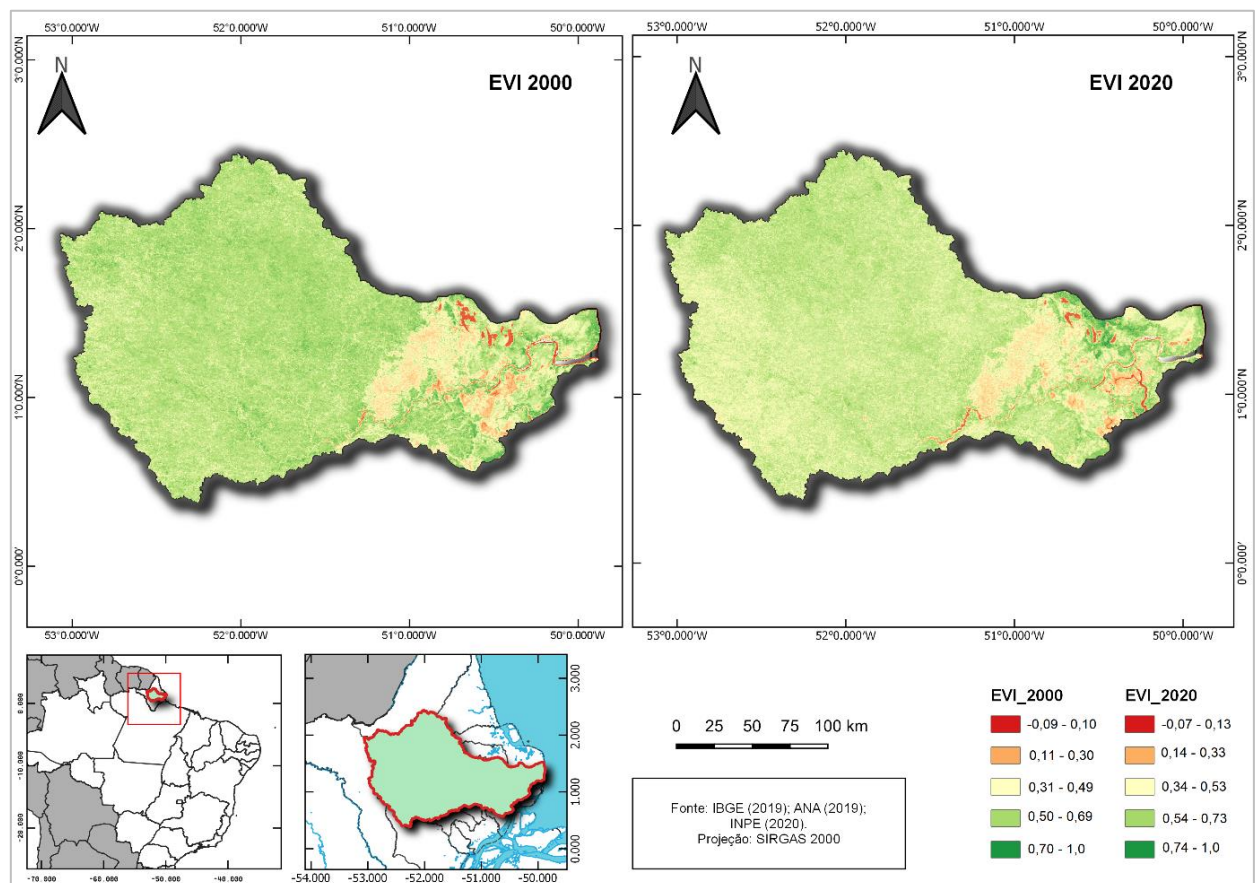
Segundo Ministério Público do Amapá (2018) e o documento referente aos impactos ambientais, EIA/RIMA, demonstraram que o reservatório da empresa responsável pela UHE Cachoeira Caldeirão apresentou 20km a mais do que o previsto impactando 41 praias que foram alagadas e 106 sítios de nidificação que ficaram submersos após a instalação da barragem. Estes impactos, atingiram diretamente populações locais causando inundações. Por fim, de acordo com Oliveira et al (2010), a região do baixo Araguari, composta pelos municípios de Cutias, Amapá e Tartarugalzinho, em comparação a outras áreas da bacia, apresenta baixa disponibilidade hídrica apresentando uma base econômica focada pela exploração

agropecuária, sobretudo pela criação de bovinos e bubalinocultura ao longo das fazendas nas margens do rio (C).

Neste sentido, ao longo dos anos, a BHRA vem passando por acelerados processos erosivos em sua costa, que geraram um desvio no curso do Canal Urucurituba que conectou o rio Amazonas com o rio Araguari em seu baixo curso (LOPES, 2019). Este desvio, que durou aproximadamente 5 anos, iniciando em 2006 até 2011, ocasionou a captura fluvial do rio e recorrentes impactos como a inversão do fluxo natural do rio a jusante do canal, tal qual o completo assoreamento da foz causando também, o fim do fenômeno conhecido como “Pororoca” (Santos *et al.*, 2018).

Para gerar o índice EVI (Figura 14), partimos da mesma premissa utilizada para o NDVI onde nos resultados obtidos, o fator de receber menos influência atmosférica, acarretou em um comportamento espectral mais evidente do dossel da vegetação da área de estudo.

Figura 14 - Índice EVI entre 2000 e 2020.



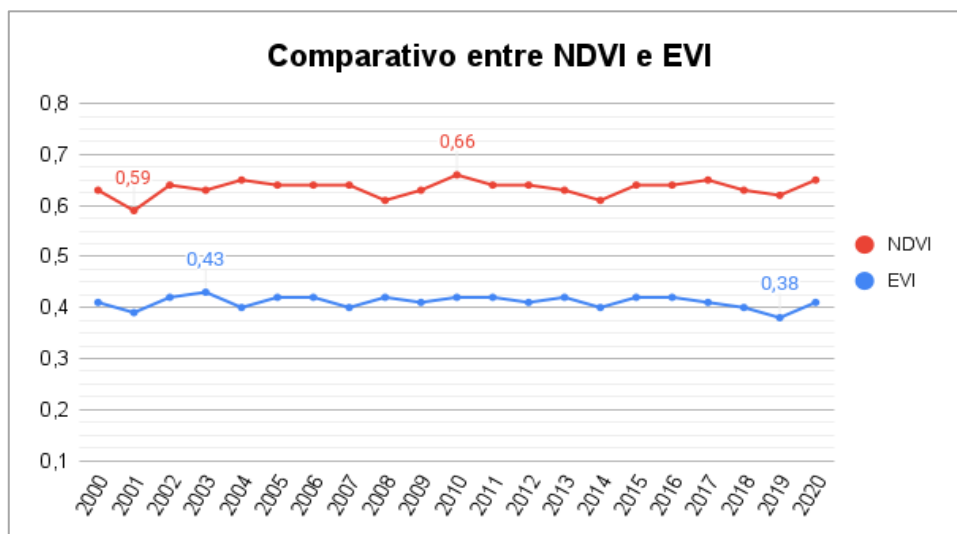
Elaboração: Autor

A partir dos mapas podemos identificar no ano de 2000 os valores para corpos d'água são de -0,09 a 0,10; bancos de areia 0,11 a 0,30; para áreas antropizadas 0,31 a 0,49; vegetação

secundária com 0,50 a 0,69 e para vegetação primária o valor de 0,70 a 1,0. Assim como para o NDVI, neste primeiro momento há uma atividade mais perceptível nas áreas antropizadas, representadas aqui com a cor amarelada podendo ressaltar uma cor mais esverdeada representando a vegetação primária no alto Araguari. No segundo momento da análise, temos para o ano de 2020 os valores de -0,07 a 0,13 para corpos d'água; 0,14 a 0,33 para bancos de areia; 0,34 a 0,53 para áreas antropizadas; 0,54 a 0,73 para vegetação secundária e 0,74 a 1,0 para vegetação densa.

Para melhor compreender estes resultados, foi confeccionado um gráfico (Gráfico 1) referente a estas médias para comparação dos dois índices a partir do comportamento espectral de cada um aplicado na área de estudo.

Gráfico 1 - Comparativo entre índices NDVI e EVI.



Elaboração: Autor.

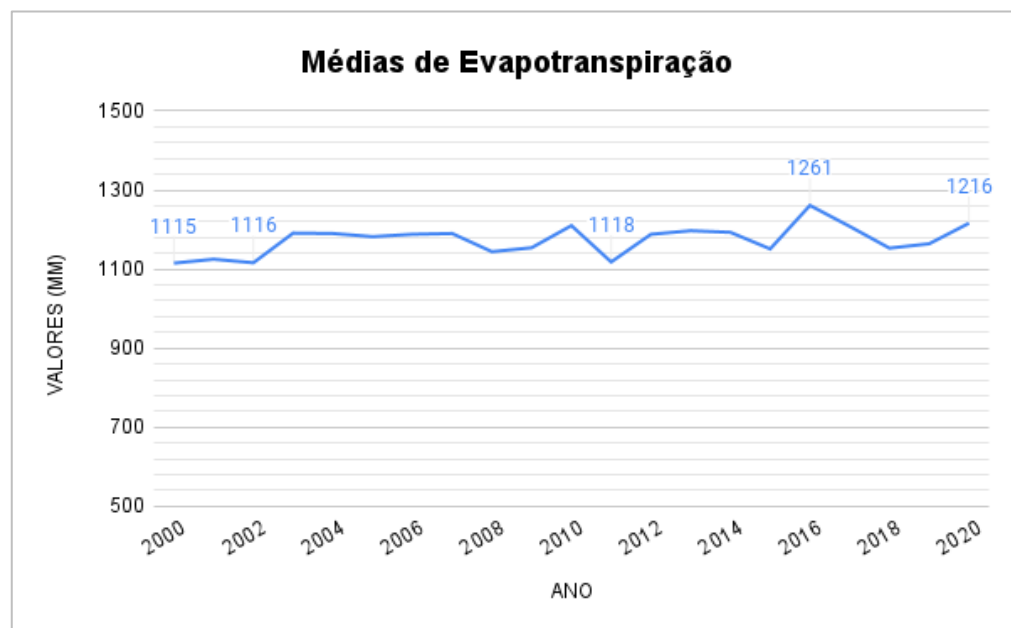
No gráfico é possível identificar a comparação entre os diferentes valores obtidos para cada índice, neste sentido, conseguimos perceber os maiores e menores valores durante os 20 anos de análise. Para NDVI temos o menor valor 0,59 no ano de 2001 e 0,66 para 2010. Já para EVI o maior foi de 0,43 para o ano de 2003 e o menor de 0,38 para o ano de 2019. Estes comportamentos são característicos de índices de vegetação, pois é mais sensível à presença de clorofila e de outros pigmentos que são responsáveis pela absorção da radiação solar na banda referente ao vermelho (Gao et al., 2000).

4.2 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Segundo Uda (2013), as características das plantas podem se correlacionar com a resposta espectral obtida através de imagens provenientes de diversos sensores. Estas imagens quando tratadas para índices de vegetação (como NDVI) podem ser utilizadas como importantes ferramentas em análises das características naturais e físicas de um determinado local, como, por exemplo, a evapotranspiração, utilizada para fins de planejamento e gestão dos demais recursos hídricos de determinado local.

Diante disso, através do *Google Earth Engine* geramos o gráfico referente à evapotranspiração da BHRA (Gráfico 2) apresentou médias bem distintas correlacionando-se com a qualidade vegetacional proposta nos resultados anteriores dos índices.

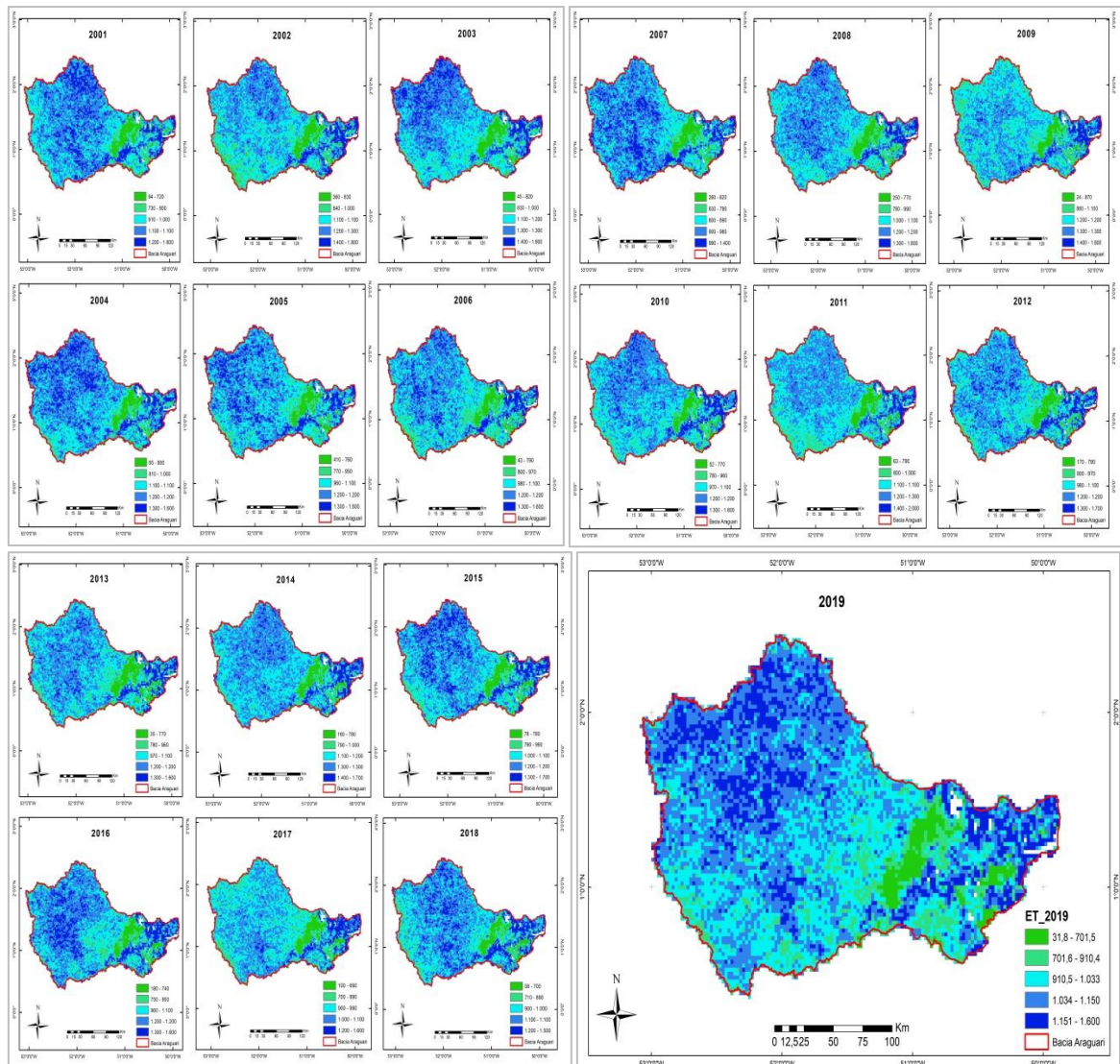
Gráfico 2 - Série temporal de Evapotranspiração 2000 a 2020.



Elaboração: Autor.

A partir do gráfico gerado foi possível identificar que os menores valores ocorreram nos anos de 2000, 2002 e 2011, e os maiores em 2016 e 2020, respectivamente. Este comportamento pode ser analisado nas figuras abaixo (Figura 15) onde identificamos que há maiores índices de transpiração em áreas onde da área de estudo onde há a presença de vegetação densa e secundária.

Figura 15 - Mapas de índices de Evapotranspiração.



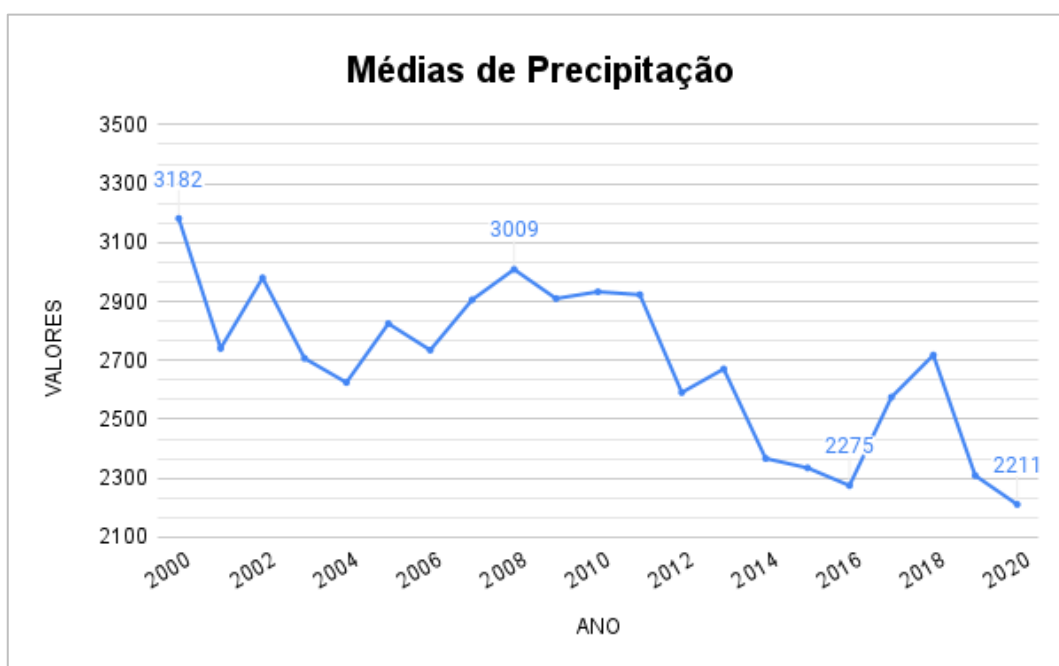
Elaboração: Autor

Diante dos mapas, conseguimos identificar que onde há menores taxas de vegetação há também menores índices de evapotranspiração. Portanto, estes menores índices com coloração verde claro se localizam na área central da bacia onde há maior concentração de atividades econômicas, como os centros urbanos e áreas com presença de pecuária extensiva, além de empreendimentos hidro energéticos e minerais. Já para os maiores índices, no mapa representados pelas cores azul escuro e azul claro, demonstraram que as maiores atividades de evapotranspiração ocorreram em áreas que a presença de vegetação densa e vegetação secundária são maiores. Vale ressaltar, que no gráfico todos os valores de 2000 a 2020 foram gerados, mas que, no entanto, para exportação dos arquivos *raster*, a plataforma não gerou o arquivo referente ao ano de 2020. Gerando, portanto, apenas 19 arquivos, de 2001 a 2019, que não prejudicou a qualidade da pesquisa.

4.3 – PRECIPITAÇÃO

Na região amazônica, as variáveis climatológicas mais significativas são a atividade convectiva (formação de nuvens) e a atividade de precipitação pluviométrica. O regime de chuvas da Amazônia apresenta máximos anuais bem acentuado nos meses referentes ao verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e outono (março, abril e maio), os mínimos anuais ocorrem durante os meses de inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Neste sentido, a estação chuvosa do Estado do Amapá ocorre nos períodos sazonais relacionados ao verão e outono (DE SOUZA, *et al.*, 2010).

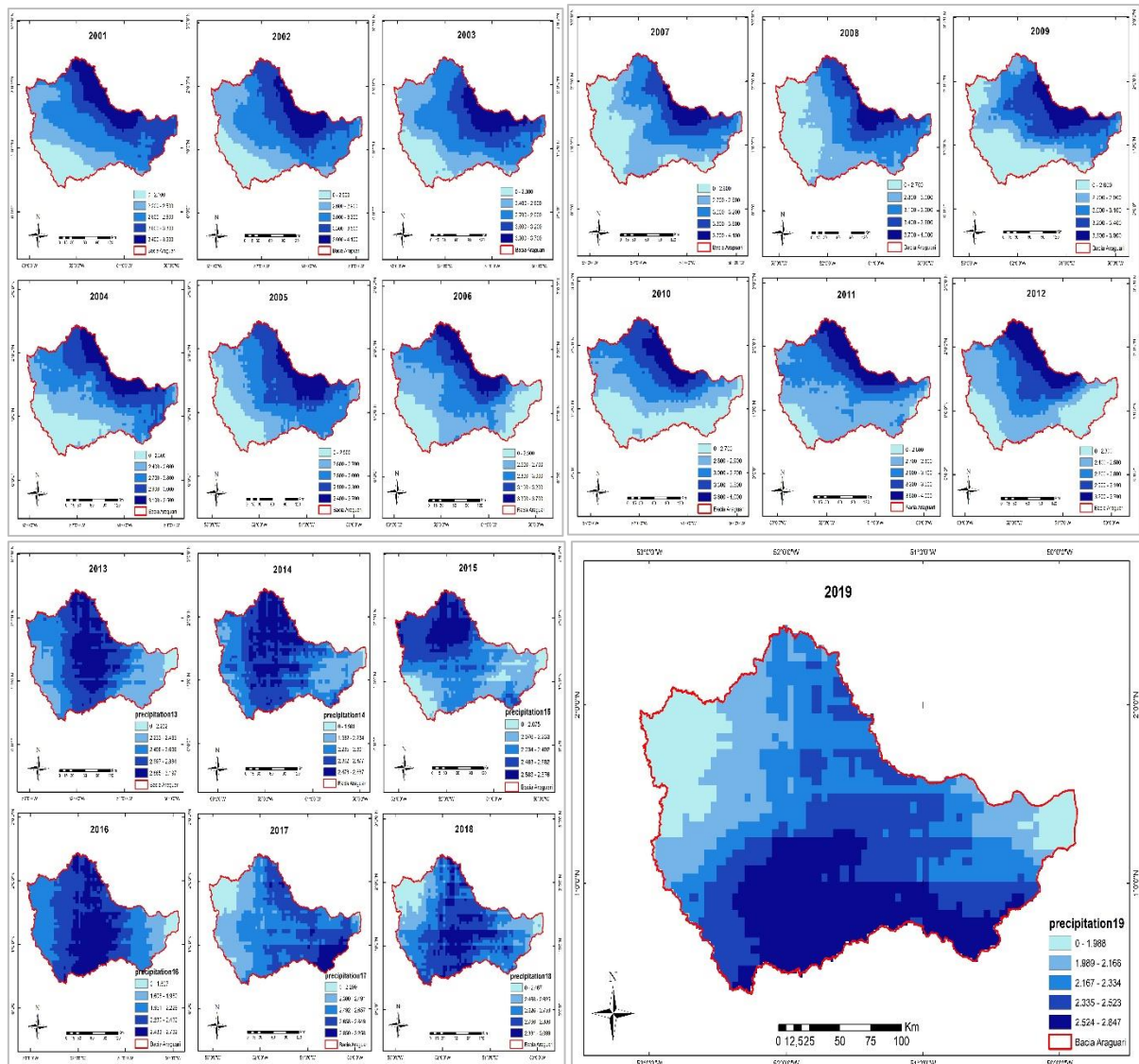
Gráfico 3 - Série temporal da Precipitação de 2000 a 2020.



Elaboração: Autor

A partir do gráfico gerado foi possível identificar uma grande variabilidade na precipitação da BHRA, onde obtivemos maiores índices nos anos de 2000 e 2008 com 3.182mm e 3.009 mm, respectivamente. Já os menores índices se apresentam em 2016 e 2020, com valores em milímetros de 2.275 e 2.211, respectivamente. Estes valores podem ser explicados pela grande variabilidade climática que ocorre na Região Norte, tendo influências tanto de clima regional quanto local. Segundo De Souza (2004), a variabilidade da precipitação é diretamente dependente de mecanismos climáticos de grande escala que se especializam e se processam nos dois oceanos tropicais, Atlântico e Pacífico decorrentes de fenômenos como El Niño e La Niña.

Figura 16 - Mapas de índices de Precipitação.



Elaboração: Autor

Diante dos mapas gerados, pudemos identificar que os primeiros anos apresentaram uma sazonalidade de chuvas voltada para o Oceano Atlântico. Segundo Mendonça (2007), as massas de ar provenientes do hemisfério sul sofrem influência das Células das altas pressões subtropicais onde ocorre a presença dos ventos alísios. Já nos anos posteriores, a sazonalidade pluviométrica apresenta grande índices na parte central e sul da bacia onde pode ter recebido influências das massas de ar intercontinentais. De acordo com Nimer (1989), estes fenômenos climáticos são comuns em todo Brasil, sobretudo em seu interior, de meados da primavera a meados do outono, sendo mais frequentes e regulares no verão (dezembro a fevereiro), quando há um decréscimo geral de pressão, motivado pelo forte aquecimento do interior do continente.

5 CONCLUSÕES

Diante do método aplicado nesta pesquisa, percebeu-se a importância da aplicação índices de vegetação para análises ambientais, sobretudo da BHRA, que apresenta uma grande diversidade florestal e climática sendo, portanto, uma região grande influência do estado do Amapá. A partir dos índices gerados, identificamos que as maiores alterações na paisagem, ocorreram em áreas próximas ao exutório do Rio Araguari e no médio Araguari onde se concentram atividades de pecuária e atividades hidro energéticas, além de crescimento demográfico, urbanização intensa e desmatamento.

Através do método aplicado para os dados de evapotranspiração e precipitação, foi possível identificar a sazonalidade do ciclo hidrológico da BHRA onde esta variou em diferentes tipos de vegetação, além de demonstrar que os menores índices estão em áreas com um grande crescimento demográfico e urbano, ou onde se concentram grandes atividades econômicas.

Por fim, consideramos que a pesquisa pode representar uma importante ferramenta para análises sócio-espaco-ambientais, contribuindo tanto para o Poder Público na tomada de decisões frente a locais que, hoje sofrem diferentes impactos ambientais, quanto para a sociedade como um todo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. **Aziz Ab'Sáber**: problemas da Amazônia brasileira. Estudos avançados (53), 2005.
- ABATZOGLOU, J., Dobrowski, S., Parks, S. *et al.* **TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015**. *Sci Data* 5, 170191 (2018).
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Amazônica**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/amazonica> Acesso em: 12 de março de 2021.
- ARAÚJO, A. N. Análise Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Araguaari – AP: Subsídios ao planejamento ambiental. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal em 2020 foi de 10.851 km². **INPE**, São José dos Campos-SP, 21 de maio de 2021. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>, Acesso em: 17 de jun. de 2021.
- BARKER, J.L., HARDEN, M.K., ANUTA, E. A., SMID, J. E., HOUGHT, D. (1992). MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization. October, 84p.
- BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia**. USP: Estudos Avançados 19 (53). São Paulo. 2005.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- BORDALO, C. et al. **Conflitos socioambientais pelo uso da água em comunidades ribeirinhas no nordeste paraense**: o caso das bacias hidrográficas dos rios Murucupi e Dendê no município de Barcarena-PA. In: Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento. Campinas: Instituto de Geociências – Unicamp 2017.
- CÂMARA, G.; DAVIS. C.; A. M. MONTEIRO; J. C. D'ALGE. Introdução à Ciência da Geoinformação. 2 ed. São José dos Campos-Brasil: INPE, 2001, disponível em ([disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro)).
- DE SOUZA; E.B.; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. **The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical pacific and Atlantic SST**

anomalies on weekly timescale. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 19(2), 2004. p. 113-122.

DE SOUZA, E. B., CUNHA, A. C. **Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala.** In: Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá: IEPA, 2010.

DIODATO, M. A. et al. Índice de Vegetação. In: Geotecnologias para aplicações ambientais. Belo Horizonte: Uniedusul, 2021. P. 288-300.

ESCOBAR, I. P. et al. **Reprocessamento digital das imagens SLAR geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRASIL - projeto RADAM-D.** IN: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE, p. 4395-4397.

FILOCREÃO, A. S. M. **Amapá 2000-2013.** São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2015. 140 p.

FILHO, A. C. P., MIOTO, C. L., PESSI, D. D. In: Geotecnologias para aplicações ambientais, Maringá, PR. Uniedusul, 2021.

GAO, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. **Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination.** Remote Sensing of Environment, n. 74, p. 609–620, 2000.

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Portal Imprensa.** 2013. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/linha-do-tempo-entenda-como-ocorreu-a-ocupacao-da-amazonia/> Acesso em: 13 de março de 2021.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P. et al. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

KING, M., KAUFMAN, Y; MENZEL, W., TANRÉ, D. (1992). Remote Sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing.

LIMA, F. R., MARTINELLI, M. **As Unidades Ecodinâmicas na Cartografia Ambiental de Síntese.** USP, 2008.

LOPES, P. P. P. **Transporte de sólidos em suspensão e qualidade da água em Zona Estuarina Amazônica**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Departamento de Pós-Graduação, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/553>. Acesso em: 17 de junho de 2021.

MACIEL, Mariléia. MP-AP, Unifap e órgãos ambientais cobram respostas da UHE Cachoeira Caldeirão sobre impacto ambiental e o sumiço dos tracajás. **Ministério Público do Estado do Amapá**, Amapá, 21 nov. 2018. Disponível em: <http://www.mpap.mp.br>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MARQUES, I. C. R. Território Federal e mineração de manganês: gênese do Estado do Amapá. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MENDONÇA, F. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MELO, E. T. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos – Crateús/CE**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fortaleza, 2008.

MONTEIRO, F. L. **Estudo do consumo de cal dos dados de uma indústria siderúrgica utilizando análise de regressão linear múltipla**. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, 2016.

NASA, (2002). MODIS web. <[Http://tpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html](http://tpwww.gsfc.nasa.gov/MODIS/index.html)> Acesso em 13 de junho de 2021.

NETO, T. O.; NOGUEIRA, R. J. B. (2016). Geopolítica e rodovias na Amazônia: um debate necessário. *Revista de Geopolítica*, 6(2), 166-186.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil** – 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, L. L. et al. Características hidroclimáticas da bacia do rio Araguari (AP). In: CUNHA, A. C; SOUZA, E. B; CUNHA, H. F. A. (Orgs.). **Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 2. ed. Macapá: IEPA, 2010. Cap. 5. p. 83- 96.

PALHETA DA SILVA, J. M. **Território e mineração em Carajás**. Belém: GAPTA/UFPA, 2013.

PORTO, J. L. R. Amapá: principais transformações econômicas e institucionais (1943-2000). **Tese** (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **Amazônia enquanto acumulação desigual dos tempos**: Uma contribuição para a ecologia política da região. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 107. Coimbra. 2015. P. 63-90.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. *In*: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973, Greenbelt, Maryland, USA. Proceedings [...]. Greenbelt: NASA, 1973. p. 3010-3017.

ROSENDO, J. dos S. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG utilizando dados do sensor Modis. 2005. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

SILVA, C. N., LIMA, R. A. P., SILVA, J. M. P. **Uso do território e impactos das construções de hidroelétricas na bacia do rio Araguari (Amapá-Brasil)**. Macapá, v9, n2, p. 123-140, jul/dez. 2016.

SOUSA, M. **Transamazônica**: Integrar para não entregar. *Nova Revista Amazônica*, Vol. 8, 2020.

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Síntese de indicadores da Amazônia Legal**. Belém, 2018. 84 p.

UDA, P. K. **Análise da Evapotranspiração potencial distribuída por meio de imagens NDVI, na Bacia do Rio Negrinho - SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.