



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
EMBRAPA – UFPA - MPEG**

**JULIO PEREIRA RIBEIRO JUNIOR**

**ANALISE TEMPORAL DO INDICE DE VEGETAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO  
DA COBERTURA VEGETAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO**

**BELÉM-PA**

**2022**

**JULIO PEREIRA RIBEIRO JUNIOR**

**ANALISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO  
DA COBERTURA VEGETAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais

Orientador: Prof. Dr. José Henrique Cattanio

BELÉM-PARÁ

2022

**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)**

---

R484a Ribeiro Junior, Julio Pereira.

Análise temporal do índice de vegetação e caracterização da cobertura vegetal no Estuário amazônico /Julio Pereira Ribeiro Junior. — 2022.

66 f.: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Henrique Cattanio Cattanio

Coorientador(a): Prof. Dr. José Henrique Cattanio

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2021.

1. Sensoriamento remoto. 2. Google earth engine. 3. Região insular de Belém (PA). 4. levantamento florístico.

I. Título.

CDD 621.3678

---

**JULIO PEREIRA RIBEIRO JUNIOR**

**ANALISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO  
DA COBERTURA VEGETAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

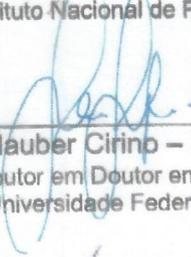
Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais

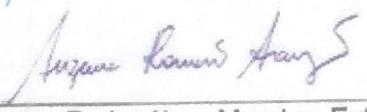
Data da aprovação: 09/09/2021

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Henrique Cattanio - Orientador  
Doutor em Agronomia  
Universidade Federal do Pará - UFPA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Marcos Adami - Membro Interno  
Doutor em Sensoriamento Remoto  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Glauber Cirino - Membro Interno  
Doutor em Clima e Ambiente  
Universidade Federal do Pará - UFPA

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Suzana R. Araújo - Membro Externo  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Rural da Amazônia - UFRA

*Dedico a minha origem, minha base,  
minha raiz. Minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e forças para superar os momentos difíceis.

A minha família pela força e apoio no decorrer de toda minha Pós-graduação e em todos os momentos.

A universidade federal do Pará pela oportunidade de cursar um dos cursos mais relevantes que existe para a região amazônica.

Aos meus amigos pelo companheirismo e disposição nos bons e nos maus momentos.

Ao meu orientador Professor Dr. José Henrique Cattanio, pela sábia orientação e paciência no decorrer do trabalho.

Aos membros da banca examinadora composta pelos professores; Dr. Marcos Adami, Dr<sup>a</sup>. Suzana Romeiro Araújo, e Glauber Cirino, pela gentileza em aceitar meu convite e pelas valiosas sugestões para o melhor desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de sinótica (LABSIN) e ao Laboratório de Modelagem Atmosférica da Amazônia (LAMAZ).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante dois anos, a qual foi de fundamental importância para o término de minha pesquisa.

A todos que fizeram parte direta e indiretamente da produção deste trabalho.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota”

(Theodore Roosevelt)

## RESUMO

O referido estudo foi desenvolvido no período de 1990 a 2020 na região insular da Baía do Guajará, estado do Pará e teve como objetivo analisar a dinâmica de uso e cobertura do solo nas ilhas da região insular da Baía do Guajará através do índice de vegetação NDVI, com a intenção de provocar a discussão e inserção de novas estratégias de desenvolvimento urbano, econômico, social e turístico na região na APA da Ilha do Combú, localizada no município de Belém, Pará. Para alcançar tal objetivo foi elaborado no *code editor* do Google Earth Engine, o script para gerar índice de vegetação (NDVI) comparando com as médias mensais e anuais da precipitação pluviométrica. Constatou-se que a sazonalidade influencia de forma consistente no comportamento da vegetação e por consequência no NDVI, já que as mudanças antrópicas foram mínimas na maioria das ilhas.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto; região insular de Belém (PA); Google Earth Engine; levantamento florístico.

## **ABSTRACT**

This study was carried out from 1990 to 2020 in the insular region of Baía do Guajará, state of Pará and aimed to analyze the dynamics of land use and cover on the islands of the insular region of Baía do Guajará through the NDVI vegetation index. with the intention of provoking the discussion and insertion of new urban, economic, social and tourist development strategies in the region in the APA of Ilha do Combú, located in the municipality of Belém, Pará. To achieve this objective, the script to generate vegetation index (NDVI) was prepared in the code editor of Google Earth Engine, comparing it with the monthly and annual averages of rainfall. It was found that seasonality consistently influences the behavior of vegetation and, consequently, the NDVI, since anthropic changes were minimal on most islands.

**Keywords:** remote sensing; insular region of Belém (PA); Google Earth Engine; floristic survey.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plataforma Code Editor do Google Earth Engine.....	24
Figura 2 - Assinatura espectral de diferentes objetos.....	25
Figura 3 - Assinatura espectral (Curva Espectral) de uma folha de uma cultura em diferentes situações. B: Blue; G: Green; R: Red; IR: Infrared Radiation.....	25
Figura 4 - Localização da Área de estudo, região da Baía do Guajará próximo a Belém, Pará.....	29
Figura 5 - Comportamento anual da precipitação pluviométrica e da temperatura no município de Belém – Pará.....	30
Figura 6 - Fluxograma metodológico .....	31
Figura 7 - Localização das Unidades Amostrais. ....	34
Figura 8 - Comportamento do NDVI nos períodos de estação seca e estação chuvosa na região insular da Baía do Guajará.....	39
Figura 9 - Comportamento do NDVI nos períodos de estação seca(azul) e estação chuvosa(preto) nas Ilhas da região insular da Baía do Guajará: a) NDVI Ilha de Cotijuba; b) NDVI APA da Ilha do Combú; c) NDVI Ilha das Onças; d) NDVI Ilha Jutuba; e) Ilha Paquetá; f) Ilha Mirim; g) Ilha Jararaca; h) Ilha Jararaquinha; i) Ilha Longa; j) Ilha Murutucu; l) Ilha Grande.....	41
Figura 10 - Estimativa da precipitação média anual acumulada, gerada pelo satélite CHIRPS Daily. Os dados representam a média de 31 anos de medidas (1990 a 2020), calculados sobre a região insular de Belém. As barras representam o erro padrão da média. As caixas vermelhas e pretas referem-se à eventos de El Niño forte e moderado, respectivamente. A linha horizontal na cor laranja representa a precipitação anual média no período de 31 anos. ....	45
Figura 11 - Análise de correlação de Pearson aplicada às médias anuais no período de estudo entre NDVI e Precipitação pluviométrica para as Ilhas da região insular da Baía do Guajará de 1990 a 2020.....	45

Figura 12 - Variação do NDVI em função das estimativas de precipitação anual do satélite CHIRPS Daily. Os dados representam a média anual de 31 anos (1990 a 2020), calculados sobre a região insular de Belém. As barras de erro padrão são mostradas a cada ano. As caixas vermelhas e pretas referem-se à eventos de El Niño forte e moderado, respectivamente. ....	46
Figura 13 - Análise estatística por boxplot para período de 1990 a 2020 da variação do NDVI em função das estimativas de precipitação mensal do satélite CHIRPS.....	47
Figura 14 - Análise de correlação de Pearson aplicada às médias mensais no período de 1990 a 2020, entre NDVI e Precipitação pluviométrica, nas ilhas da região insular da Baía do Guajará.....	48
Figura 15 - Análise de correlação de Pearson entre as médias de NDVI e Precipitação pluviométrica, para a estação chuvosa (a) e estação seca (b).....	49
Figura 16 - Comportamento do índice de Valor de Importância das oito principais espécies vegetais, entre os anos de 1990, 2013 e 2020: a) Euterpe oleracea; b) Theobroma cacao; c) Carapa guianensis; d) Spondias mombin; e) Socratea exorrhiza; f) Quararibea guianens: ; g) Astrocaryum murumuru; h) Sarcaulus brasiliensis.....	51
Figura 17 - Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 1990. ....	54
Figura 17B - Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 2013.....	55
Figura 17C - Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 2020. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação do índice NDVI entre os anos de 1990 a 2020.....	37
Tabela 2 - NDVI médio das onze Ilhas da Região Insular da Baía do Guajará.....	40
Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas na amostra (3 ha) de floresta de várzea na Ilha do Combu, Belém, Pará, Brasil. Número de indivíduos (N), Área Basal (AB), Densidade Relativa (DR), Frequência Relativa (FR), Dominância Relativa (DoR), Índice de Valor de Cobertura (VC) e Índice de Valor de Importância (VI).....	50
Tabela 4 - Área das classes de uso e cobertura da terra das ilhas da região insular da Baía do Guajará.....	56

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

**GEE** – Google Earth Engine

**NDVI** - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

**APA** – Área de Proteção Ambiental

**API** – Interface de Programação de Aplicativos

**EVI** - Índice de Vegetação Aprimorado

**SR** – Sensoriamento Remoto

**DAP** – Diâmetro Altura do Peito

**UA** - Unidades Amostrais

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**CHIRPS** - Satélite Grupo de Riscos Climáticos Precipitação Infravermelha com dados da Estação

**DR** - Densidade Relativa

**FR** - Frequência Relativa

**DoR** - Dominância Relativa

**IVI** - Índice de Valor de Importância

**VC** - Índice de Valor de Cobertura

**MapBiomass** - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 interdisciplinaridade da proposta .....	17
1.2 Justificativa.....	18
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	19
2.1 Objetivo geral .....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
3.1 Caracterização das florestas de várzea.....	20
3.2 Levantamento florístico .....	21
3.3 Principais usos e manejo da floresta de várzea .....	22
3.4 Google Earth Engine .....	23
3.5 Uso do sensoriamento remoto aplicado à análise da vegetação .....	24
3.6 Índices de vegetação .....	25
3.7 Estudo da precipitação .....	26
3.7.1 Grupo de Perigos Climáticos Precipitação infravermelha com Estação (CHIRPS) .....	27
<b>4 MATERIAL E METODOS</b> .....	29
4.1 Localização da área de estudo.....	29
4.2 Aquisição dos dados .....	30
4.3 Índice de vegetação .....	31
4.4 Dados de precipitação .....	32
4.5 Processamento dos dados.....	32
4.6 Estrutura da vegetação.....	32
4.7 Análise dos dados dendrométricos.....	34
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37

<b>5.1 Análise da vegetação com o NDVI entre os anos de 1990 a 2020.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 Estudo da precipitação entre os anos de 1990 a 2020.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3. Levantamento florístico da Ilha do Combú nos anos de 1990 e 2020</b>	<b>49</b>
<b>5.4 Análise de uso e cobertura da terra .....</b>	<b>53</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O bioma Amazônia, com sua extensa área territorial, é considerado uma das maiores reservas biológicas do mundo, e possui o maior volume de água doce corrente do planeta, com 2,5% da água doce existente (VALOIS, 2003). Na zona costeira da Amazônia encontra-se uma diversidade de ambientes, como por exemplo, uma das maiores faixas continua de manguezais do mundo, assim como, os ecossistemas de planícies de marés, pântanos salinos e doces, planícies de inundação, praias, dunas, florestas tropicais e áreas de várzea do estuário (SOUZA FILHO, 1995)

As regiões das ilhas, onde se encontram as várzeas do estuário amazônico, são áreas de grande importância para a preservação do meio ambiente a nível mundial, pois os pequenos rios contribuem substancialmente com os fluxos de matéria orgânica (MCCLAIN; ELSENBEER, 2001). Entretanto, os recursos naturais são modificados de maneira intensa, geralmente devido às ações antrópicas, e de forma desordenada (FRAGAL et al., 2016). Este uso insustentável resulta em consequências ambientais negativas, geralmente percebidas na forma de abertura no dossel florestal, e para ser identificado no campo demanda mão de obra, tempo e custo elevado (WILKIE; FINN, 1996).

Neste sentido, estudos utilizando o sensoriamento remoto, como ferramenta para observações de mudanças espectrais e da paisagem das florestas têm comprovado a eficiência desta técnica aplicada a áreas muito extensas ou de difícil acesso. Através de índices de vegetação como, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), pode-se evidenciar variações espectrais na vegetação. Estas variações são reflexo da sazonalidade climática, ocasionada pela alteração no regime de chuvas, ou por mudanças no uso da terra, causadas ou não por queimadas (BAYMA; SANO, 2015). Em vista disso a plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) vem revolucionando a aquisição e o processamento de dados geoespaciais em escala planetária, oferecendo uma base diversa, fácil, de acesso ágil, e com eficiente manipulação na geração de resultados.

Dentro do contexto das mudanças de uso da terra, os levantamentos florísticos em florestas de várzea são importantes para o conhecimento da

estrutura da vegetação e a distribuição dos indivíduos arbóreos dentro de uma comunidade. Os inventários fornecem também informações pertinentes para um melhor planejamento do manejo destes ecossistemas, a fim de obter um melhor aproveitamento e preservação dos recursos naturais, beneficiando o meio ambiente e validando os resultados obtidos com o NDVI (SANTOS et al., 2019).

Segundo Rodrigues et al. (2015) é bastante comum nas ilhas do estuário, próximas à Belém, encontrar a extração de açazeiros (*Euterpe oleracea* Mart.; Família Arecaceae) para produção de palmito, e de espécies madeireiras por parte dos ribeirinhos para suprir suas necessidades alimentares e econômicas. A exemplo da Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combú (APA da Ilha do Combú), localizada às margens do Rio Guamá, onde a relação entre a comunidade ribeirinha e o meio ambiente é considerada equilibrada, pois, basicamente a exploração é de subsistência, principalmente do fruto do açaí (JARDIM, 2014).

Processos biológicos e físicos influenciam o sistema de produção, variando com os atributos do recurso, como mobilidade, previsibilidade e vulnerabilidade do ecossistema (SCHLAGER; OSTROM 1992). O grau de adequação entre práticas regulamentadas e o contexto ecológico é um fator chave que influencia o desempenho da produção (OSTROM et al., 1999, BERKES et al., 2000). Nas áreas de várzea próximas a região metropolitana de Belém, devido à grande aceitação do fruto do açaí (nacional e internacionalmente), houve a necessidade intensificar da produção, dando preferência para a palmeira de açaí em detrimento da retirada de algumas árvores, para se atender à crescente demanda pelo fruto (HOMMA et al, 2014). Com isso, práticas tradicionais de manejo usadas pelos ribeirinhos foram modificadas para atender o crescimento exponencial do mercado, sendo introduzidas novas técnicas de manejo do ecossistema de várzea, tais como a remoção de parte da cobertura vegetal original para diminuir a competição com as palmeiras e enriquecimento com mudas produzidas na própria região (NOGUEIRA; FIGUEIRÊDO; MULLER, 2005).

Em um mesmo estabelecimento de produção, podem coexistir diferentes áreas caracterizadas pelas modificações introduzidas em decorrência da forma de manejo praticada pelo produtor, seguindo métodos que desenvolveu ao longo

do tempo (AGUIAR et al., 2017). Ao mesmo tempo, esta diferença pode decorrer de uma variação ambiental, como várzea de topografia alta e baixa (CATTANIO et al., 2002).

Espécies florestais são utilizadas pelos ribeirinhos a centenas de anos, tanto para uso comercial quanto para subsistência, sem causar desequilíbrio expressivo entre as espécies da flora local (GAMA et al., 2005). Almeida e Jardim (2012), identificando as espécies arbóreas mais utilizadas por moradores da Ilha de Sororoca, concluíram que medidas educativas necessitam ser implantadas para promover um uso racional dos recursos florestais pelas comunidades tradicionais. Massiva ocupação populacional das ilhas próximas aos centros urbanos causa pressões sob os ecossistemas, motivadas principalmente pela exploração dos recursos naturais, provocando assim, modificações no espaço insular e podendo causar desequilíbrio ambiental pelas populações tradicionais (FERRAZ et al., 2006).

### **1.1 interdisciplinaridade da proposta**

A interdisciplinaridade da proposta está inserida no estudo do ambiente, a partir das modificações impostas pelo homem para intensificação na produção extrativista em floresta de várzea. A mais de trezentos anos o homem vem explorando o ambiente de várzea na produção de madeira, e subprodutos florestais não madeireiros, em um manejo sustentável. Entretanto, devido a um apelo econômico sobre determinados produtos, como açaí e cacau, as áreas de várzea vêm se tornando cada vez mais parecido com áreas de monoculturas. Ferramentas que possam medir esta modificação do ambiente, de fácil acesso e uso, podem ser uteis para as políticas de desenvolvimento dos governos e acompanhamento ambiental e possíveis implicações em modelos de mudanças climáticas. Desta forma a referida proposta atende às linhas de pesquisa do PPGCA no momento em que aborda a interação entre clima e ambientes naturais, associados às alterações no uso da terra e suas consequências para as comunidades locais.

## 1.2 Justificativa

As áreas de proteção ambiental têm por função a conservação dos atributos bióticos, estéticos e culturais existente em determinada área de interesse coletivo. Entretanto, ao longo dos anos, devido a crescente pressão antrópica ocasionada pelos mais diversos motivos, estas áreas vêm sofrendo alterações no nível da estrutura da população arbórea devido a intensificação na produção de açaí uso. Como a exemplo claro temos a APA Ilha do Combú localizada no espaço insular do município de Belém (BELLO; HUFFNER, 2012; ROSA; CABRAL, 2016). Com isto, entender o quanto estas ilhas vêm se modificando ao longo do tempo (com o manejo e possíveis alterações no clima), e como acompanhar de forma remota, possibilita uma ferramenta importante para o poder público para o desenvolvimento regional e na preservação ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar a dinâmica de uso e cobertura do solo nas ilhas protegidas e não protegidas da região insular da Baía do Guajará, utilizando índices de vegetação e Classificação supervisionada dos sensores TM e OLI dos satélites LANDSAT 5, 7 e 8 e dados de chuva, no período de 1990 e 2020.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar em uma escala temporal sazonal o comportamento do NDVI na região insular de Belém;
- Discutir a relação entre índices de vegetação, precipitação e as possíveis alterações na dinâmica florística da área de estudo amostral (APA da Ilha do Combú);
- Analisar a dinâmica florística entre os anos de 1990 e 2020.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Caracterização das florestas de várzea

Segundo Moura et al. (2004), as florestas inundáveis ocupam aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup> representando cerca de 6% da superfície da Amazônia Legal. Estas florestas estão subdivididas em cinco diferentes ecossistemas: manguezais, várzeas de maré (estuarinas), pântanos/tabocais, igapós e várzeas. No estado do Pará, a planície de inundação representa quase 3% do seu território (DIAS, 1991).

Segundo Lentini et al. (2005), economicamente as florestas de várzea, em comparação com as florestas de terra firme, foram responsáveis, até meados da década de 1970, pelo abastecimento de aproximadamente 75% da madeira produzidas na Amazônia brasileira. Até meados de 2005 estimava-se que a produção madeireira das florestas de várzea está em torno de 10% da produção estadual (LENTINI et al., 2005).

As florestas de várzea dividem-se em várzeas sazonais que são submetidas ao ciclo anual de enchente (chuvas) e vazante (seca) e as várzeas de marés (do estuário), em que os rios sofrem influência das marés oceânicas provocando pulsos de inundação diária, abrangendo cerca de 25.000 km<sup>2</sup> do estuário amazônico (JARDIM; VIEIRA, 2001). A riqueza e distribuição das espécies arbóreas nas regiões alagadas da Amazônia são influenciadas por diversos fatores, tais como o tempo do período de inundação, tipo de solo, adaptação às constantes inundações, sedimentação e erosão (FERREIRA, 2000).

As várzeas do estuário são ambientes inundáveis da Amazônia brasileira constituída por solos aluviais recentes, resultantes da deposição de sedimentos suspensos nas águas dos rios (LIMA, 2001; SANTOS et al., 2004). Estes sedimentos se concentram principalmente nas margens de rios de água barrenta, submetidos à um ciclo diário de enchentes e vazantes, devido à influência dos regimes das marés e das águas pluviais (CATTANIO et al., 2002; QUEIROZ et al., 2007). Topograficamente, a várzea pode ser dividida em baixa intermediária e alta, sendo que a variação topográfica entre a várzea alta e baixa

pode chegar a 57,4 cm, resultando em uma alta variação espacial na composição florística (CATTANIO et al., 2002).

É muito comum em florestas de várzeas a presença de determinadas espécies devido ao ambiente restrito, fluxo constante de maré, saturação do solo, salinidade, dentre outras (JARDIM et al., 2004). Devido ao ambiente incomum as florestas de várzea são ocupadas principalmente por espécies como: *Protium decandrum* (Aubl.) Marchand (breu-vermelho); *P. unifoliolatum* Engl. (breu-branco da várzea); *Caryocar microcarpum* Ducke (piquiarana); *Cassia pentandra* Raddi (fava-marimari) e *E. oleracea* Mart. (açai) (JARDIM; CUNHA, 1998). O estudo conduzido por Gama et al. (2005), constatou como característica dos ambientes alagados a menor variedade de espécies em comparação com as florestas de terra firme, apesar de o solo ser mais fértil. Ainda no contexto da composição florística, uma das espécies mais abundantes e importantes das florestas de várzea é a *E. oleracea*, de ocorrência em praticamente todo o estuário amazônico, sendo bastante utilizada pelos ribeirinhos, por fazer parte da alimentação, e ainda contribuir como fonte principal de renda (QUEIROZ et al., 2005).

### 3.2 Levantamento florístico

Os levantamentos florísticos são importantes para conhecimento da composição vegetal em determinado ecossistema. Jardim e Vieira (2001) a fim de conhecer a composição florística e estrutural de uma floresta de várzea na Ilha do Combú, instalaram dez parcelas de 1,0 ha cada, sendo cinco em área de várzea alta e cinco em várzea baixa. Neste trabalho, na várzea baixa foi identificado com maior densidade relativa as espécies *E. oleracea* (56,35%), *Quararibea guianensis* Aubl. (9,92%), *Astrocaryum murumuru* Mart. (4,17%) e *Carapa guianensis* Aubl. (2,58%), sendo que na várzea alta as espécies de maior dominância relativa foram *A. murumuru* (8,82%), *E. oleracea* (7,98%), *Sacculus brasiliensis* (A. DC.) Eyma (6,30%) e *Q. guianensis* (2,58%). No mesmo trabalho os autores identificaram que as espécies mais dominantes parecem não sofrer alterações entre a várzea alta da baixa, apenas a proporção de indivíduos muda entre as duas topografias.

Outro trabalho realizado na mesma época na APA da Ilha do Combú, só que com parcelas menores (CATTANIO *et al.*, 2002), de 0,05 ha, identificaram na várzea baixa *E. oleracea* (56,35%), *Q. guianensis* (9,92%), *A. murumuru* (4,17%), *C. guianensis* e *Bactris* sp. (2,58%), sendo que na várzea alta a dominância foi de *A. murumuru* (8,82%), *E. oleracea* (7,98%), *S. brasiliensis* (6,30%) e *Q. guianensis* (4,63%). Comparando os dois estudos, é impressionante como os trabalhos mostram os mesmos valores para densidade, ou seja, isto indica que facilmente qualquer modificação no ambiente de várzea pode ser comprovada em pequenas parcelas.

Pantoja *et al.* (2019), analisando a influência da quantidade de chuva na regeneração natural das espécies florestais na APA da Ilha do Combú, mostraram que não haver influência sazonal da precipitação na variação das espécies da regeneração.

### **3.3 Principais usos e manejo da floresta de várzea**

O açaí é uma palmeira de amplo uso pelas comunidades tradicionais, pois além do fruto ser utilizado como alimento, seu tronco poder servir de passarela aos moradores, o palmito é consumido e comercializado, entre outros usos. Quaresma e Cunha (2012) levantaram as utilidades e as formas de manejo da espécie *E. oleracea* para os moradores ribeirinhos da comunidade do Franco Grande do Bailique (AP), e encontraram que a comunidade realiza limpeza nos açazais e desbaste seletivo a fim de obter maior produtividade.

O estudo de Jardim e Anderson (1985), sobre as práticas de manejo do açaí realizado na Ilha das Onças, mostrou que a retirada de espécies concorrentes, combinada com o desbaste seletivo na touceira do açazeiro, proporcionou aumento na produtividade do fruto por estipe, melhorando também o acesso e a colheita dos frutos.

Ainda no contexto de uso das espécies de várzea, Rodrigues *et al.* (2006) realizaram um levantamento florístico na APA da Ilha do Combú, onde inventariaram as espécies do sub-bosque, encontraram que nos dois ambientes a composição florística é muito semelhante, sendo *E. oleracea* e *Olyra latifolia* L. foram espécies mais dominantes nos dois ambientes, porém existem espécies que ocorrem em somente um dos ambientes. Os usos foram os mais variados,

entretanto o uso medicinal foi o mais frequente tanto para as espécies encontradas na várzea alta, quanto para a várzea baixa.

As espécies do estuário amazônico oferecem uma infinidade de usos, principalmente por parte dos moradores ribeirinhos. Jardim e Medeiros (2006), direcionaram seu estudo a APA da Ilha do Combú e APA Algodual para descobrir a composição florística, e identificar espécies de uso medicinal para fornecer subsídio para a indústria farmacológica (Óleoquímica). A quantidade de vegetais com potencial uso farmacológico, identificada pelos autores, foi considerada baixa na APA da Ilha do Combú, onde foram encontradas 16 espécies, e na APA Algodual (vegetação de restinga) foram encontradas 21 espécies com boas perspectivas para a indústria farmacêutica.

### 3.4 Google Earth Engine

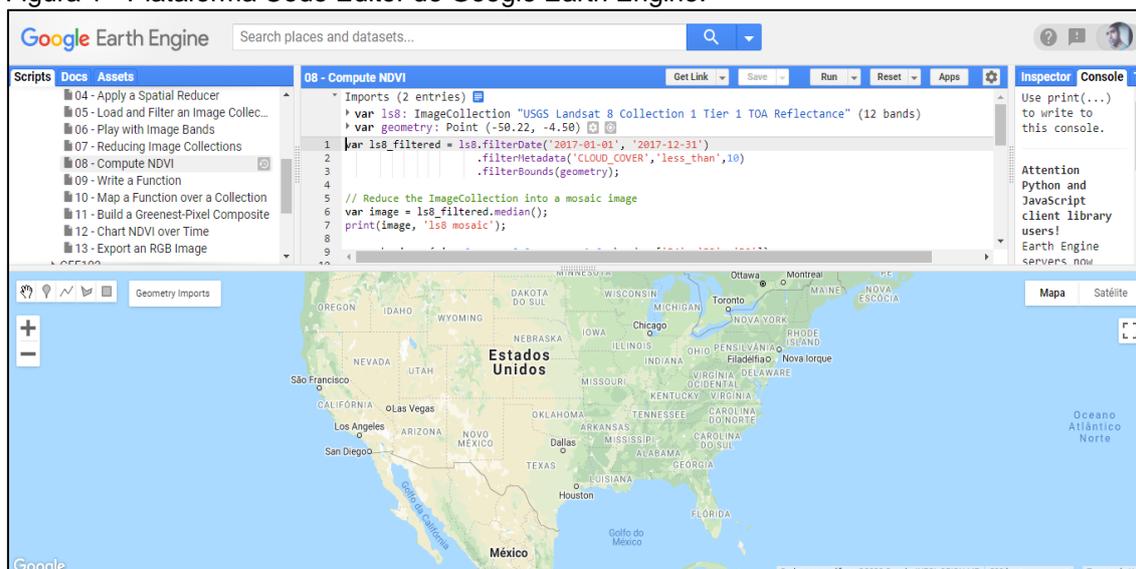
A plataforma da *Google* consiste num catálogo de dados geoespaciais, que contém várias bibliotecas de diferentes tipos de dados, e permite o processamento desses dados nos seus próprios servidores, garantindo assim, dois aspetos que são relevantes para o trabalho em detecção remota: a visualização de dados em grande quantidade, e o processamento desses dados com muito maior velocidade em um processamento local. Ambos são possíveis graças ao processamento (dos dados) paralelo e em servidor sem a necessidade do download de uma grande quantidade de dados e respetivo armazenamento em disco, ocupando assim ainda mais lentidão nos processos (Noel Gorelick, 2016).

Silva (2018) descreve que os acessos ao *Google Earth Engine* (GEE) são efetuados através do *browser*, onde funciona com base numa interface para aplicação de programação (API – Interface de programação de aplicativos). Assim, através da ferramenta *Code Editor* é possível programar e executar uma rotina a qual permita avaliar a resposta de diferentes alvos a índices de vegetação. No caso do presente estudo foi trabalhado o NDVI, EVI, a classificação supervisionada, e dados de precipitação.

Dentre os dados geoespaciais disponíveis no catálogo do *Google* pode-se destacar vários produtos com cobertura regional e global dos sensores Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global

(ASTER), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), LANDSAT, National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations (CHIRPS) Além dos dados já disponíveis na plataforma Google Earth Engine (GEE), o usuário pode enviar os seus dados para a integração/processamento remoto.

Figura 1 - Plataforma Code Editor do Google Earth Engine.



Fonte: Google Earth Engine. (2021).

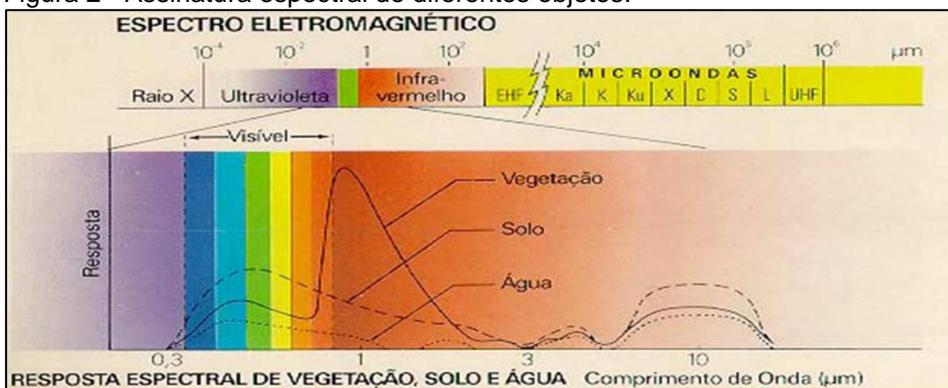
### 3.5 Uso do sensoriamento remoto aplicado à análise da vegetação

O sensoriamento remoto (SR) pode ser caracterizado pela obtenção de informações de um objeto sem que exista um contato físico com o mesmo, e algumas vezes há longa distância. As primeiras medições por SR foram realizadas através de câmeras acopladas em aeronaves, balões, pipas, foguetes e até mesmo pássaros. Atualmente, imagens de sensores remotos podem ser obtidas a partir de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados, máquinas agrícolas autônomas, etc. (SHIRATSUCHI, 2014).

Dados de refletância podem ser associados a características secundárias de cada alvo através da radiometria espectral, que é uma das mais importantes áreas do SR, podendo ser efetivada por meio de medidas realizadas em laboratório ou em campo. A radiometria espectral identifica a intensidade com que cada material, seja um tipo de solo, rocha ou vegetação, reflete a radiação

eletromagnética (Figura 1) em diferentes comprimentos de onda do espectro (BRANDÃO, et al. 2008).

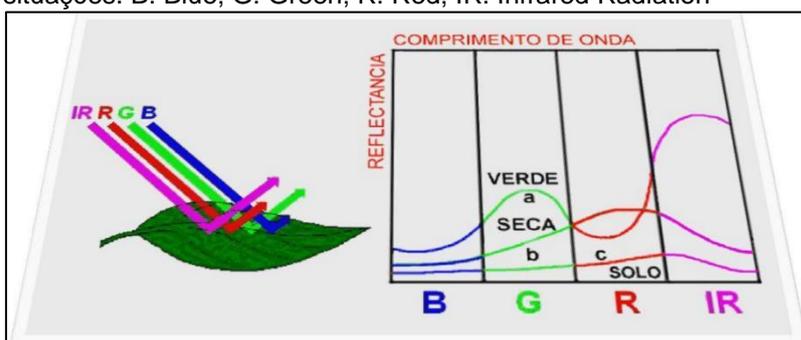
Figura 2 - Assinatura espectral de diferentes objetos.



Fonte: INPE. (2002).

O SR é uma técnica capaz de interagir com diferentes estágios da fenologia foliar (Figura 3), neste sentido, o SR e o geoprocessamento podem dar subsídio as análises ambientais por meio da interação da planta com a energia eletromagnética, a qual se relaciona diretamente a aspectos químicos e fisiológicos dos vegetais, variedade entre as espécies e aspectos sazonais (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001).

Figura 3 - Assinatura espectral (Curva Espectral) de uma folha de uma cultura em diferentes situações. B: Blue; G: Green; R: Red; IR: Infrared Radiation



Fonte: Adaptado de Ponzoni. (2001).

### 3.6 Índices de vegetação

As pesquisas e aprimoramento das técnicas de SR ao longo do tempo geraram os índices de vegetação, ferramenta amplamente utilizada em diversos trabalhos que buscam relacionar as informações captadas pelos sensores com a vegetação presente na área imageada (BORATTO E GOMIDE, 2013). Através

destes índices são obtidas informações a respeito da quantidade de biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação (JUNGES; ALVES; FONTANA, 2007).

Almeida et al. (2017) aplicou o NDVI e o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI), com bandas do satélite Landsat-5, sensor TM, nas bacias hidrográficas do Rio Brígida e Rio Terra Nova, com o objetivo de realizar uma análise temporal nas duas bacias hidrográficas, e ainda testar a viabilidade dos dois índices de vegetação verificando o grau de correlação entre os mesmos. Seus resultados demonstraram ser possível usar os respectivos índices e que a bacia hidrográfica se encontrava em bom estado de preservação e com boa diversidade vegetal.

O uso dos índices de vegetação para monitoramento da ocupação do solo configura-se como uma solução barata e rápida, tanto para a comunidade científica, quanto para os órgãos fiscalizadores. Pensando nisso, Boratto e Gomide (2013), em sua análise das condições da cobertura vegetal do solo, para a região norte do estado de Minas Gerais, aplicaram os índices de vegetação: *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)* e *Improved Vegetation Index (IVI)*, nos períodos seco e chuvoso, demonstrando regiões mais homogêneas no período chuvoso, com altos valores nos três índices.

O *Improved Vegetation Index (IVI)* possui boa aplicabilidade aos estudos ambientais, como pode ser observado no trabalho realizado por Rosa et al. (2013), onde utilizaram o EVI para explicar a dinâmica intra e interanual do Parque Estadual do Turvo, o qual permitiu observar a resiliência da vegetação.

### **3.7 Estudo da precipitação**

A precipitação é um processo irregular, de mudanças constantes em sua forma e intensidade, enquanto incide em uma determinada área. O estudo da precipitação sobre uma superfície é de grande importância, não apenas para estudos de seca, mas nas áreas da meteorologia, agricultura, climatologia, hidrologia, e tantas outras áreas científicas (PEREIRA et al., 2013).

É necessário entender que dados de precipitação pluviométrica que demanda um espaço temporal mais amplo e áreas geograficamente grandes não

são de fácil aquisição. As estações meteorológicas contribuem substancialmente com o aumento da capacidade de monitoramento da precipitação em tempo real, a nível local em um raio médio de 25 km, entretanto, a distribuição destas nem sempre é uniforme. Nesse sentido, o surgimento dos satélites meteorológicos trouxe uma grande vantagem e evolução para o estudo da precipitação. Hoje em dia, existe um número crescente de produtos que permitem o estudo da precipitação e estão disponíveis quase em tempo real a partir de diferentes fontes, sensores e formatos, todos eles com diferentes características, custos, definição e resolução espacial (SILVA, 2018).

Os produtos derivados de satélites oferecem a vantagem de providenciarem dados com cobertura de maiores áreas, dando uma alternativa eficaz para estudos que cubram áreas extensas de tal forma que não existam dados de estações em terra que ofereçam dados suficientes para cobrir a zona de estudo por completo. No estudo Silva *et al.* (2018), foram usados os produtos TRMM e Grupo de Perigos Climáticos Precipitação infravermelha com Estação *Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations* (CHIRPS), em que o segundo combina os dados do primeiro com dados em terra, de forma a se obter uma melhor resolução, e dados mais fidedignos, por combinar dados recolhidos em terra e dados espaciais, que garantem uma cobertura total, de forma contínua.

Zeng et al. (2019) utilizando a plataforma do *Google Earth Engine* realizou uma análise da distribuição da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Zambezi entre os anos de 1998 e 2017, encontrando resultados confiáveis aplicado a países em desenvolvimento com estações de bitola escassas, capacidades analíticas limitadas e recursos de computação insuficientes. Ainda assim, concordando inclusive com estudos anteriores na região com metodologias *in situ* e outros dados de sensoriamento remoto.

### 3.7.1 Grupo de Perigos Climáticos Precipitação infravermelha com Estação (CHIRPS)

O CHIRPS é um conjunto de dados de chuvas quase globais de 30 anos, iniciando em 1981 até os dias atuais. Os dados CHIRPS incorporam imagens de satélite de resolução de  $0,05^\circ$  com dados de estações *in situ* para criar séries de tempo de chuva para análise de tendências e monitoramento sazonal da seca (FUNK et al., 2015).

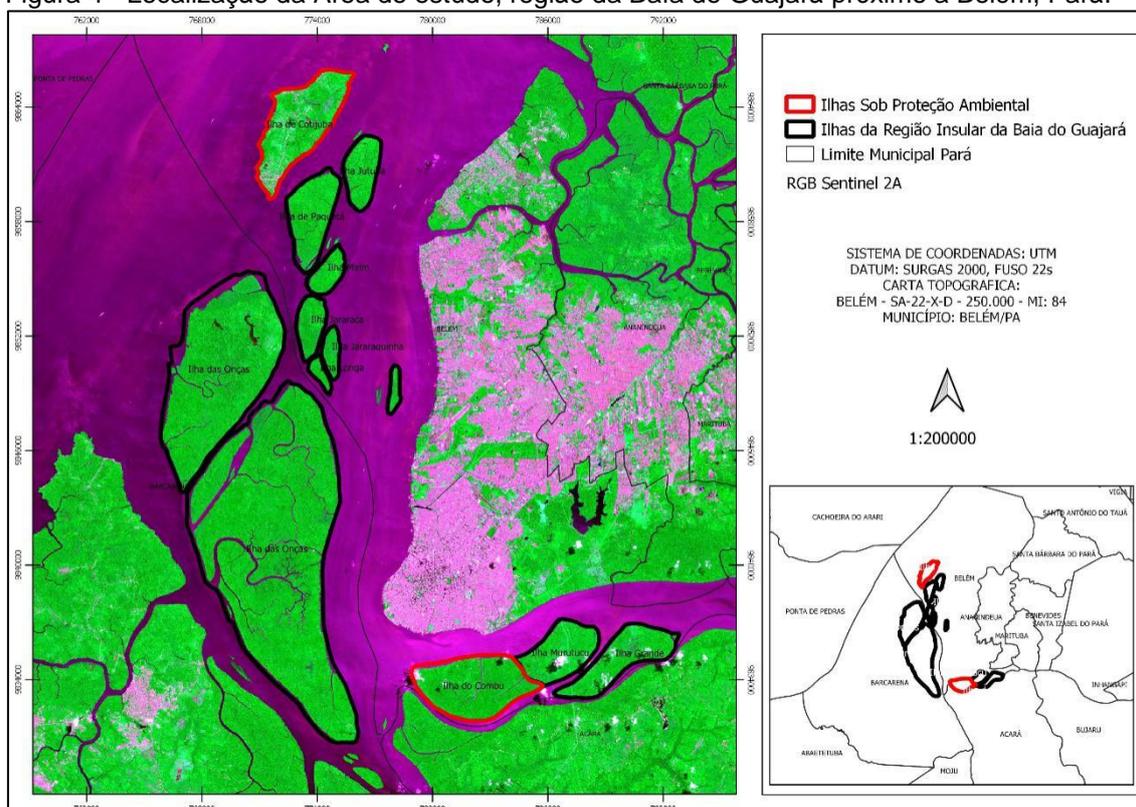
A base de dados CHIRPS (foi criada a partir da colaboração entre o USGS (U.S. *Geological Survey*) e o EROS (*Earth Resources Observation and Science*), cobrindo o globo terrestre entre as latitudes  $50^\circ\text{S}$  e  $50^\circ\text{N}$  com informações diárias, pentadais, decendiais, mensais e anuais a partir de janeiro de 1981 até o presente (FUNK et al., 2015). O grande diferencial dessa base de dados para a referida área de estudo, consiste no monitoramento com resolução espacial de  $0,05^\circ$ , correspondendo a aproximadamente 5 km de pixel e a incorporação de bases de dados de estações terrestres (FUNK et al., 2015). Um estudo conduzido por Costa et al. (2019), teve o intuito de realizar uma comparação entre os dados CHIRPS e estações meteorológicas do conjunto de informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o território brasileiro aos anos de 1998 a 2010, e encontrou uma correlação significativa entre os resultados de precipitação, demonstrando a eficácia do sensoriamento remoto aplicado aos estudos ambientais.

## 4 MATERIAL E METODOS

### 4.1 Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na região próxima a Belém, em ilhas de várzea do estuário amazônico, englobando as Ilha de Cotijuba, Jutuba, Paquetá, Mirim, Jararaca, Jararaquinha, Ilha Longa, Ilha das Onças, Combú, Ilha do Murutucu e Ilha Grande, localizadas na margem esquerda do Rio Guamá. As ilhas protegidas são: APA da Ilha do Combú (APA Combú, Lei Estadual nº 6083 de 13 de novembro de 1997) e Ilha de Cotijuba (APA Cotijuba, Lei Municipal 5.621, de 27 novembro de 1990).

Figura 4 - Localização da Área de estudo, região da Baía do Guajará próximo a Belém, Pará.

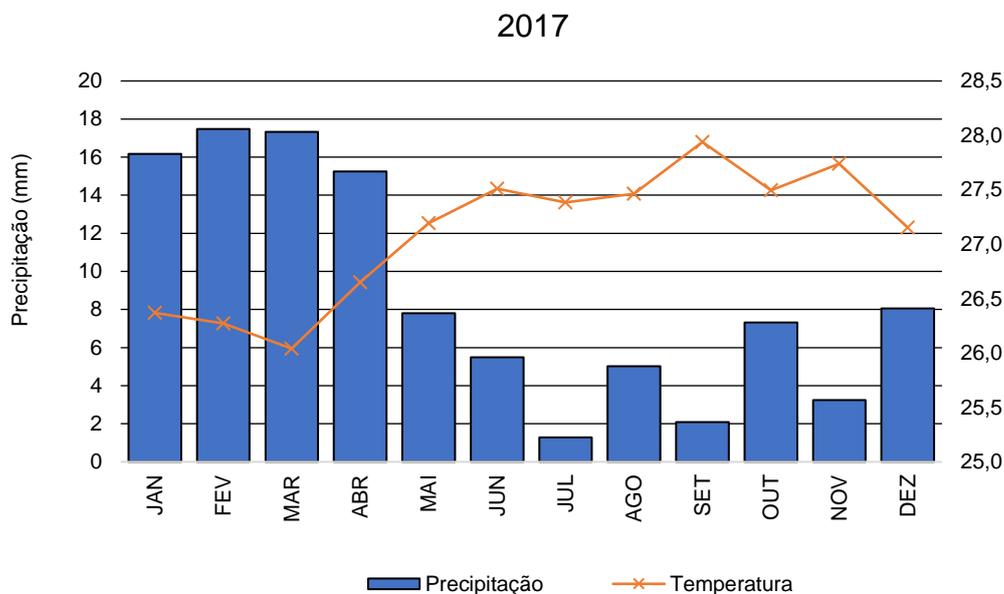


Fonte: Bases vetoriais IBGE-2016, editado pelo autor.

A região de estudo possui clima do tipo *Af*, segundo a classificação de Köppen (PEEL et al., 2007), com índice pluviométrico médio anual de aproximadamente 2.500 mm, temperatura média de 27 °C (IDEFLOR, 2020). Os meses mais chuvosos (estação chuvosa) estendem-se de dezembro a maio, e o

período menos chuvoso (estação seca) inicia em junho e vai até novembro (INMET, 2021).

Figura 5 - Comportamento anual da precipitação pluviométrica e da temperatura no município de Belém - Pará.



O solo da APA da Ilha do Combú é do tipo GXbe – Gleissolo Háplico Tb Eutrófico (EMBRAPA SOLOS, 2021). A vegetação predominante na área de estudo é composta por árvores, arbustos, lianas e espécies de sub-bosque, apresentando também floresta primária e secundária (CATTANIO, 2002).

#### 4.2 Aquisição dos dados

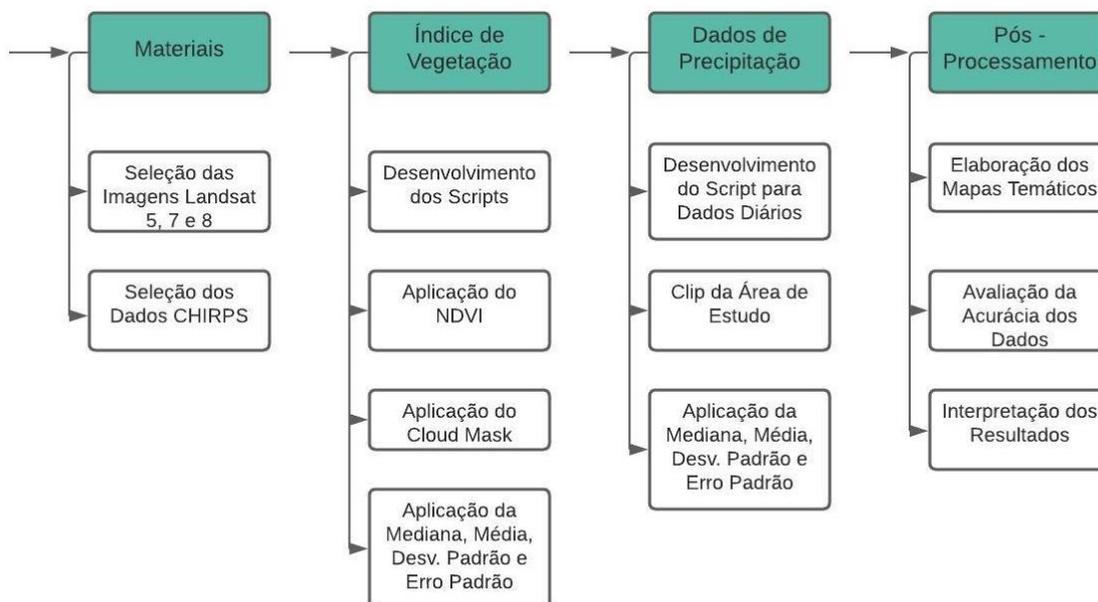
O *Google Earth Engine* foi utilizado como ferramenta de aquisição e processamento dos dados geospaciais, através da aplicação da linguagem de programação *Java script*.

Para todos os 31 anos do estudo, foram utilizados mosaicos de imagens datadas de 01 de janeiro a 31 de dezembro, tanto para os dados de NDVI, quanto para os de Precipitação, com aplicação de uma banda com informações sobre a presença de pixels com nuvem (Banda QA). Criou-se assim, máscaras onde apenas pixels com quantidade igual a 0% de nuvem foram selecionadas. Os pixels com valor superior passaram a ter valor sem dados (“*no data*”).

A base cartográfica utilizada foi disponibilizada em formato digital, *shapefile*, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Na Figura 5 encontra-se o fluxograma metodológico.

Figura 6 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Do autor.

### 4.3 Índice de vegetação

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletâncias das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades (Eq. 1). Os resultados do NDVI foram interpretados levando em consideração o intervalo -1 a 1, onde, os valores de NDVI quanto mais próximos de 1, mais densa é a vegetação, ou esta apresenta maior vigor configurando-se como uma vegetação saudável; o valor 0 (zero) indica superfície não vegetada (ROSENDO, 2005).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

onde:

**IVP** = Banda no Infravermelho próximo;

**V** = Banda na faixa do Vermelho.

#### 4.4 Dados de precipitação

Os dados de precipitação foram utilizados para analisar a distribuição espacial da chuva na área de estudo e relaciona-los com os gráficos da assinatura espectral do NDVI. Os dados foram obtidos através do satélite Grupo de Riscos Climáticos Precipitação Infravermelha com dados da Estação (CHIRPS) que se encontram na plataforma do GEE. O produto CHIRPS apresenta dados de ampla série histórica, entre 1981 até 2020, e resolução espacial de 5 km. Para melhor representar os efeitos da precipitação pluviométrica no NDVI, optou-se por filtrar os dados do índice de vegetação dos períodos sazonais isoladamente na plataforma do GEE, para assim obter as médias anuais do NDVI das estações seca chuvosa.

#### 4.5 Processamento dos dados

Todas as imagens foram recortadas utilizando como máscara o arquivo *shapefile* da área de estudo na projeção UTM Sirgas 2000, fuso 22s. Tal vetor foi inserido à plataforma GEE através do *upload* que se encontra na aba *Assents*. As imagens utilizadas foram agrupadas em “collection”, onde as mesmas foram filtradas de acordo com o período de interesse, ou seja, de 1990 a 2020 totalizando 31 anos de dados de precipitação e índice de vegetação da região insular de Belém.

Os dados foram filtrados objetivando as médias mensais e anuais, e para fins de melhor analisar do comportamento da precipitação na área de estudo, optou-se também por filtrar os dados nas estações seca e chuvosa. Desta forma gerando-se gráficos com médias e desvio padrão, tanto do NDVI quanto dos dados CHIRPS. Utilizou-se para análise estatística o teste de correlação de Pearson

#### 4.6 Estrutura da vegetação

Para uma análise florística em um período inicial de 20 anos, utilizou-se os estudos de Cattanio et al. (2002), os quais fizeram uma análise da estrutura florística na APA da Ilha do Combú, dividindo a área de estudo em três diferentes topografias (alta, intermediária e baixa). Os mesmos autores realizaram o estudo em 28 parcelas de 20 x 25 m, totalizando 1,4 hectares levantados na parte

central da ilha. Os resultados mostraram que na topografia baixa apresentou grande presença de palmeiras representada principalmente por *Arecaceae* e baixa diversidade de árvores e cipós. A topografia alta apresentou um número relativamente alto de indivíduos com grande circunferência, representando 18 % das plantas levantadas.

O levantamento realizado por Lau e Jardim (2013), foi dividido em 11 parcelas de 50 x 50 m subdivididas em 5 transectos de 10 x 50 m totalizando 2,75 hectares, levantou-se todos os indivíduos com  $DAP \geq 10\text{cm}$  e altura estimada. Os resultados mostraram 5.731 indivíduos distribuídos em 21 famílias, 51 gêneros e 61 espécies. As famílias com maior número de espécies encontradas foram: *Fabaceae* e *Arecaceae*, sendo a espécie *E. oleraceae* com 4.259 indivíduos.

O levantamento florístico foi realizado na primeira quinzena do mês de maio de 2020. O modelo utilizado como unidade amostral foi o retangular, sendo este bastante utilizado em amostras de Inventários Florestais de Florestas tropicais que têm grande variação na formação florestal, pois captam o máximo de variabilidade da população florestal. As respectivas 6 parcelas seguiram as dimensões 20 x 25 m, totalizando 0,3 hectares.

Para análise da composição florística e estrutural adotou-se a metodologia utilizada por Curtis e McIntosh (1950), onde foram mensuradas as árvores com diâmetro altura do peito (DAP) a partir de 5,0 cm a 1,30 m do solo, com o auxílio de fita métrica. A medição das palmeiras (estipe) baseou-se na metodologia descrita por Cattanio *et al.* (2002). Na Figura 6 pode-se observar a localização das unidades amostrais (UA) retangulares que foram aplicadas à APA Combu.



G: Área Basal (m<sup>2</sup>)

DAP: Diâmetro a Altura do peito (1,30m em relação ao solo).

**Densidade relativa (DR)** - Demonstra em porcentagem, a relação entre o número de indivíduos de uma determinada espécie e o número de indivíduos de todas as espécies amostradas:

$$DR\% = (n_x/N) \times 100 \quad (4)$$

onde:

$n_x$  = número de indivíduos amostrados da espécie

$N$  = número de indivíduos amostrados.

**Frequência relativa (FR)** - expressa, em porcentagem, a relação entre a frequência absoluta de uma dada espécie com somatória da frequência absoluta de todas as espécies, calculado através da fórmula:

$$FR\% = FA/\Sigma FAT \times 100 \quad (5)$$

onde:

FA = Frequência absoluta da espécie

FAT = Frequência total (soma das FA de todas as espécies amostradas).

**Dominância relativa (DoR)** - expressa, em porcentagem, a relação entre a área basal total de uma determinada espécie e a área basal total da comunidade amostrada:

$$DoR = (ABI/\Sigma ABT) \times 100 \quad (6)$$

onde:

ABI = Área basal de cada indivíduo da espécie

ABT = Soma das áreas basais de todas as espécies amostradas.

**Índice de valor de importância (VI%)** expressa a importância ecológica da espécie no ambiente:

$$IVI = (DR + FR + DoR) / 300 \quad (7)$$

onde:

DR% = Densidade Relativa;

FR% = Frequência Relativa;

DoR% = Dominância relativa da espécie.

**Índice de valor de cobertura (VC)** expressa à contribuição da espécie na cobertura vegetal do ambiente:

$$VC = DR + DoR \quad (8)$$

onde:

DR = Densidade Relativa;

DoR = Dominância relativa da espécie.

#### **4.8 Dados Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias)**

Os dados de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomias no presente estudo teve o objetivo de embasar os resultados obtidos do NDVI, visto que os produtos MapBiomias foram apresentados na integra.

As classes de uso e cobertura da terra foram inseridas no ambiente Layer do software Qgis versão 3.0, através do plugin “Mapbiomas Collection” com todas as classes identificadas nas ilhas da região insular da Baía do Guajará, as classes foram: Floresta natural, Formação natural não florestal, agropecuária, Área não vegetada, Corpos D’água e Não observado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise da vegetação com o NDVI entre os anos de 1990 a 2020.

Os valores médios de mínimo e máximo do NDVI oscilaram entre  $0,410 \pm 0,191$  (média  $\pm$  erro padrão) a  $0,620 \pm 0,076$  nos anos de 2012 e 1995, respectivamente. Observa-se que a sequência mais homogênea ocorreu de 2003 a 2008 (Tabela 1).

Tabela 1 - Variação do índice NDVI entre os anos de 1990 a 2020. Médias de NDVI: Média anual e seu respectivo desvio padrão; Estação chuvosa NDVI: Média anual dos meses de estação chuvosa e seu respectivo desvio padrão; Estação seca NDVI: Média anual dos meses da estação chuvosa e desvio padrão; Estação seca NDVI: Média anual dos meses da estação seca e desvio padrão.

<b>Ano</b>	<b>Médias NDVI</b>	<b>Estação chuvosa NDVI</b>	<b>Estação seca NDVI</b>
1990	0,535 ( $\pm 0,162$ )	0,495 ( $\pm 0,173$ )	0,646 ( $\pm 0,040$ )
1991	0,500 ( $\pm 0,108$ )	0,508 ( $\pm 0,121$ )	0,550 ( $\pm 0,066$ )
1992	0,470 ( $\pm 0,092$ )	0,372 ( $\pm 0,000$ )	0,589 ( $\pm 0,052$ )
1993	0,535 ( $\pm 0,145$ )	0,458 ( $\pm 0,105$ )	0,666 ( $\pm 0,031$ )
1994	0,505 ( $\pm 0,273$ )		0,469 ( $\pm 0,355$ )
1995	0,620 ( $\pm 0,076$ )	0,560 ( $\pm 0,000$ )	0,681 ( $\pm 0,030$ )
1996	0,537 ( $\pm 0,158$ )	0,560 ( $\pm 0,085$ )	0,637 ( $\pm 0,078$ )
1997	0,448 ( $\pm 0,241$ )	0,246 ( $\pm 0,000$ )	0,466 ( $\pm 0,281$ )
1998	0,504 ( $\pm 0,189$ )	0,246 ( $\pm 0,000$ )	0,658 ( $\pm 0,056$ )
1999	0,567 ( $\pm 0,166$ )	0,310 ( $\pm 0,120$ )	0,675 ( $\pm 0,056$ )
2000	0,535 ( $\pm 0,107$ )	0,573 ( $\pm 0,000$ )	0,621 ( $\pm 0,071$ )
2001	0,455 ( $\pm 0,182$ )	0,364 ( $\pm 0,077$ )	0,665 ( $\pm 0,040$ )
2002	0,437 ( $\pm 0,287$ )	0,342 ( $\pm 0,000$ )	
2003	0,535 ( $\pm 0,176$ )		0,695 ( $\pm 0,052$ )
2004	0,520 ( $\pm 0,164$ )	0,618 ( $\pm 0,061$ )	0,641 ( $\pm 0,059$ )
2005	0,496 ( $\pm 0,193$ )	0,402 ( $\pm 0,156$ )	0,657 ( $\pm 0,031$ )
2006	0,519 ( $\pm 0,200$ )	0,561 ( $\pm 0,016$ )	0,652 ( $\pm 0,045$ )
2007	0,511 ( $\pm 0,174$ )	0,425 ( $\pm 0,000$ )	0,660 ( $\pm 0,040$ )
2008	0,561 ( $\pm 0,150$ )	0,485 ( $\pm 0,091$ )	0,686 ( $\pm 0,028$ )
2009	0,479 ( $\pm 0,281$ )	0,418 ( $\pm 0,090$ )	0,676 ( $\pm 0,029$ )
2010	0,539 ( $\pm 0,127$ )	0,598 ( $\pm 0,018$ )	0,670 ( $\pm 0,032$ )
2011	0,456 ( $\pm 0,218$ )	0,262 ( $\pm 0,000$ )	0,646 ( $\pm 0,021$ )
2012	0,410 ( $\pm 0,191$ )	0,357 ( $\pm 0,183$ )	0,649 ( $\pm 0,038$ )
2013	0,538 ( $\pm 0,121$ )	0,480 ( $\pm 0,111$ )	0,713 ( $\pm 0,037$ )
2014	0,579 ( $\pm 0,096$ )	0,644 ( $\pm 0,044$ )	0,745 ( $\pm 0,015$ )
2015	0,562 ( $\pm 0,208$ )	0,416 ( $\pm 0,255$ )	0,742 ( $\pm 0,017$ )
2016	0,534 ( $\pm 0,181$ )	0,445 ( $\pm 0,184$ )	0,737 ( $\pm 0,030$ )
2017	0,497 ( $\pm 0,173$ )	0,400 ( $\pm 0,141$ )	0,742 ( $\pm 0,039$ )
2018	0,608 ( $\pm 0,166$ )	0,476 ( $\pm 0,205$ )	0,752 ( $\pm 0,014$ )
2019	0,585 ( $\pm 0,094$ )	0,501 ( $\pm 0,068$ )	0,751 ( $\pm 0,022$ )
2020	0,535 ( $\pm 0,225$ )	0,437 ( $\pm 0,202$ )	0,753 ( $\pm 0,225$ )

Podemos observar na tabela 1 que o ano de 1995 apresentou a maior média de NDVI com 0,620, em segundo lugar vem 2018 com 0,608. Ao longo de toda a série temporal de 31 anos constatou-se grandes oscilações nos valores do NDVI que certamente sofreu influência de inúmeros fatores, dentre estes pode-se destacar a precipitação pluviométrica onde a mesma considera variações dos fenômenos El Niño e La Niña e a ação antrópica.

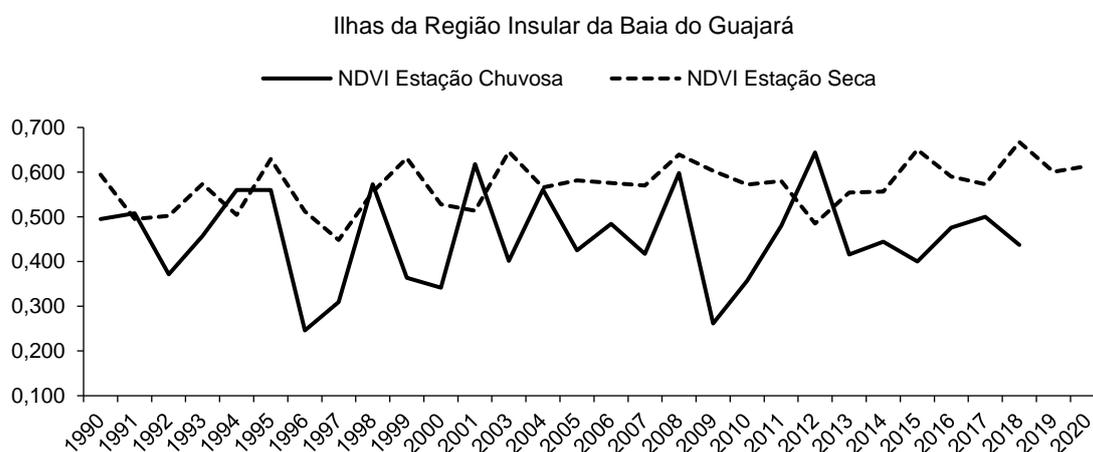
Em acordo com Azevedo e Barbosa (2020), o qual comparou NDVI com dados de precipitação, na APA Triunfo do Xingu (PA), entre 2000 e 2019, encontraram resultados semelhantes aos do presente estudo, aonde o máximo do índice de vegetação chegou próximo a 0,700. Cavalcante et al. (2020) também encontraram resultado parecido em seu trabalho, no qual buscou-se analisar o comportamento do NDVI em regiões de savana e floresta secundária, no município de Vigia (PA), entre os anos de 2013 e 2018. Neste estudo o índice de vegetação oscilou entre 0,207 a 0,795, concordando assim com os resultados apresentados aqui.

Com a intenção de melhor evidenciar as mudanças na vegetação, optou-se também por realizar uma filtragem nos dados dos períodos sazonais das estações chuvosa e seca de toda a série temporal de 31 anos, ou seja, de dezembro a maio (chuvoso) e de junho a novembro (seco). Para isso calculou-se a média global de cada período. Observa-se na Figura 8 que na estação seca houve uma maior uniformidade nos dados médios de NDVI em comparação às oscilações da estação chuvosa. Como pode-se observar na figura 8, há semelhanças entre os comportamentos do índice de vegetação dos diferentes períodos sazonais na série de 31 anos, mais especificamente nos anos de 1995-1996, 1997 e 2008.

O comportamento espectral da vegetação ao longo dos 31 anos analisados, nos diferentes períodos sazonais da região insular, denuncia que na estação seca o índice de vegetação apresentou menor oscilação em comparação a estação chuvosa (Figura 8). Quando compara-se os gráficos do comportamento espectral das estações seca e chuvosa, a maior média de NDVI corresponde a 0,667 e a menor 0,310. As poucas variações observadas nos valores de NDVI das estações seca podem estar relacionadas à disponibilidade

hídrica alcançada pelas raízes profundas das árvores, pois a disponibilidade hídrica proporciona uma estabilidade na atividade fotossintética, resultando na manutenção da fitomassa foliar (HUETE et al., 2006). Ainda na Figura 8 observa-se uma maior oscilação do NDVI na estação chuvosa em comparação a estação seca, sendo no ano de 1996 o menor valor de NDVI de toda a série temporal. Tais oscilações apresentadas podem estar ligadas às chuvas, pois no período chuvoso com maior cobertura de nuvens pode estar influenciando na diminuição dos valores do NDVI (BECERRA et al., 2009).

Figura 8 - Comportamento do NDVI nos períodos de estação seca e estação chuvosa na região insular da Baía do Guajará.



Fonte: Dados resultantes da pesquisa.

Silva (2018) utilizando o NDVI aplicado a Península Ibérica, encontrou diferenças semelhantes ao analisar dados das estações do ano de forma isolada, ficando clara a evolução e as disparidades da vegetação ao longo do tempo. Costa e Guasselli (2017) encontraram resultados semelhantes aos do presente estudo ao estudarem o comportamento do NDVI em três diferentes tipologias florestal, nos períodos seco e chuvoso, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, região nordeste do Rio Grande do Sul. Os autores encontraram que as médias de NDVI são maiores na estação seca em comparação a estação chuvosa.

O comportamento espectral das nove ilhas estudadas pode ser observado na Figura 9, onde foi constatado que as ilhas com as maiores médias nos valores

de NDVI foram em ordem decrescente: Murutucum, Jutuba, Jararaquinha, e Paquetá, ambas obtiveram média anual de NDVI acima de 0,700, o que indica que a cobertura da terra nas três ilhas encontra-se mais preservada do que nas outras ilhas. Até meados de 2015 a Ilha do Murutucum, apesar de já possuir serviços de Energia elétrica e telefonia, ainda permanece bastante dependente da região metropolitana de Belém, principalmente em termos de produtos e serviços (INSTITUTO PEABIRU, 2015; ROCHA; MORAES, 2021).

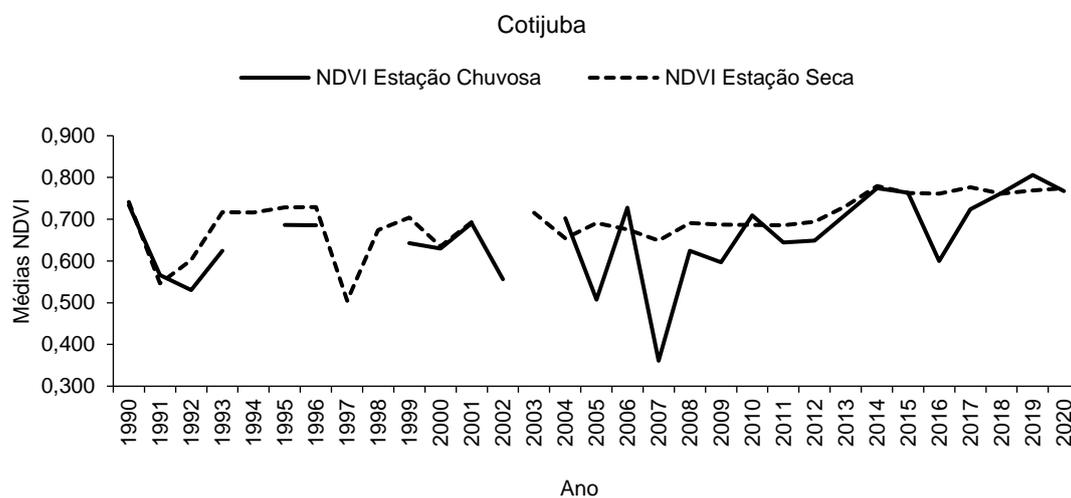
Tabela 2 - NDVI média das onze Ilhas da Região Insular da Baía do Guajará

<b>ILHA</b>	<b>MÉDIA NDVI</b>
Cotijuba	0,698
Combu	0,657
Longa	0,655
Onças	0,676
Jutuba	0,718
Paquetá	0,714
Mirim	0,673
Jararaca	0,663
Jararaquinha	0,715
Murutucum	0,725
Grande	0,621

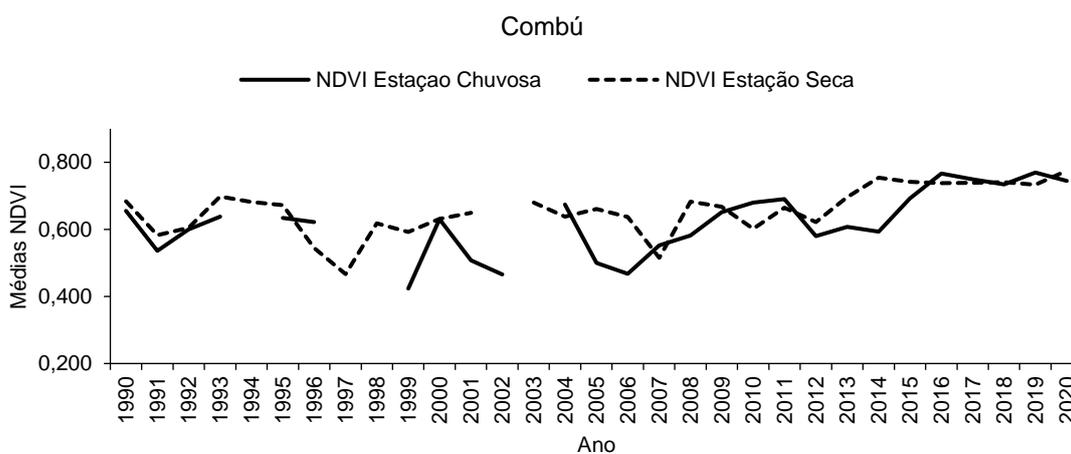
Fonte: Do autor.

Figura 9 - Comportamento do NDVI nos períodos de estação seca(azul) e estação chuvosa(preto) nas Ilhas da região insular da Baía do Guajará: a) NDVI Ilha de Cotijuba; b) NDVI APA da Ilha do Combú; c) NDVI Ilha das Onças; d) NDVI Ilha Jutuba; e) Ilha Paquetá; f) Ilha Mirim; g) Ilha Jararaca; h) Ilha Jararaquinha; i) Ilha Longa; j) Ilha Murutucu; l) Ilha Grande

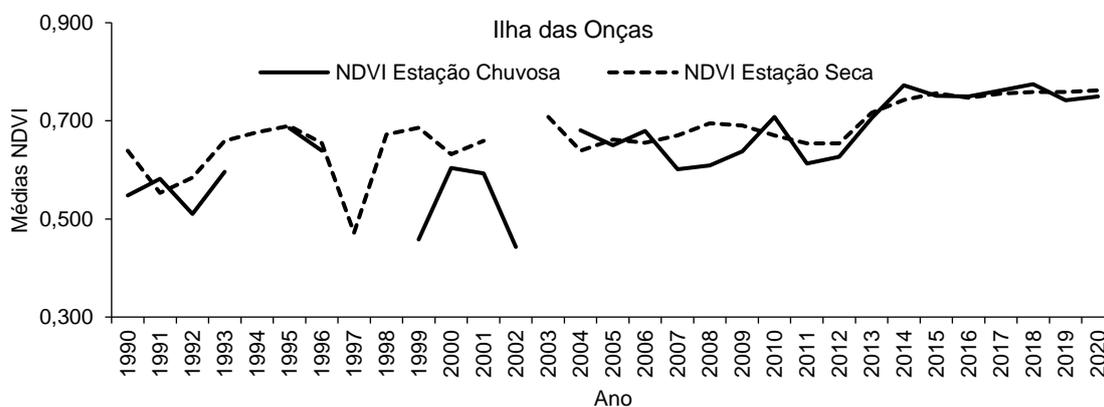
a)



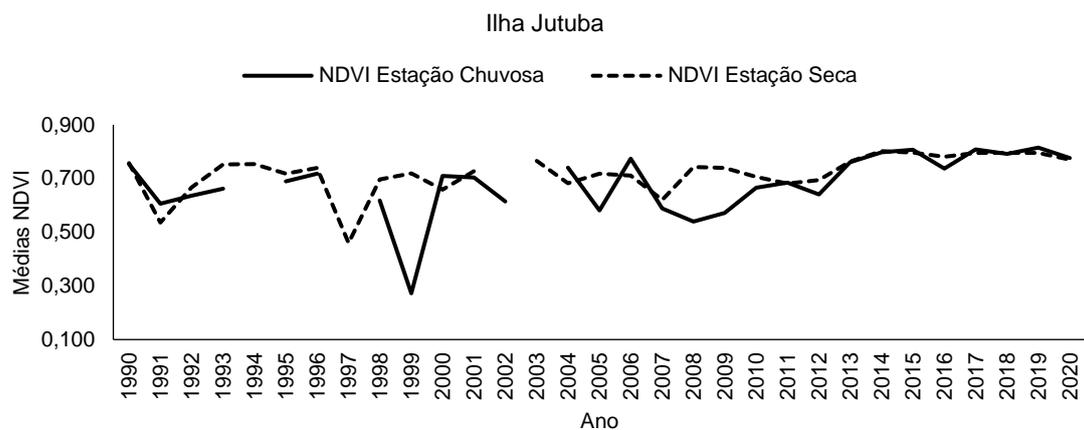
b)



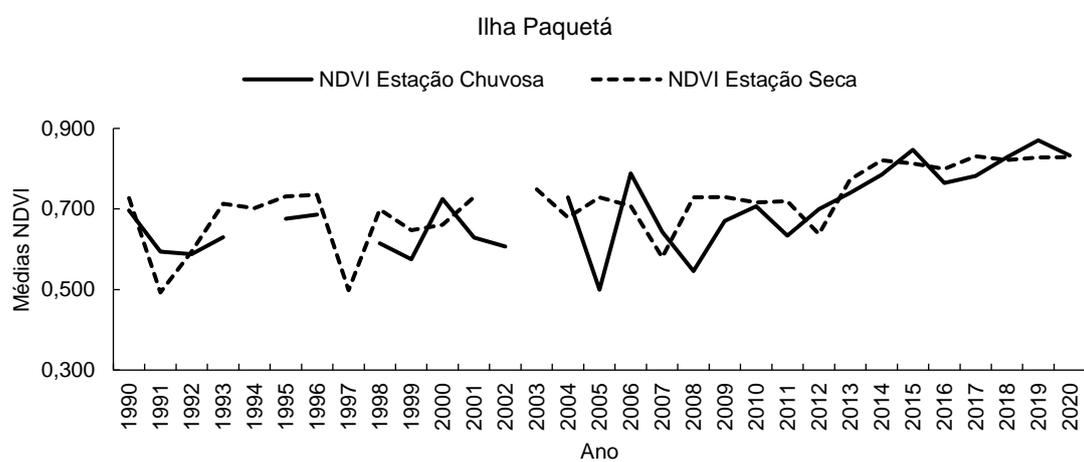
c)



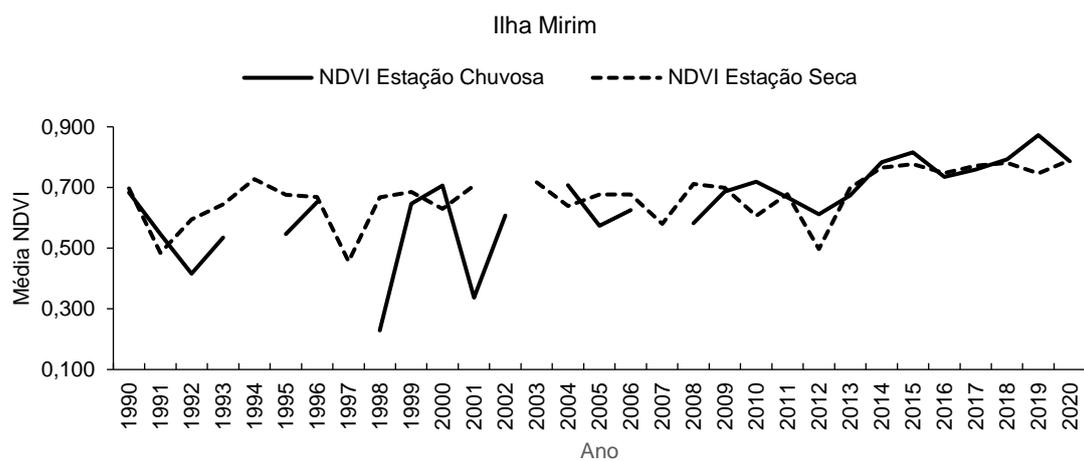
d)



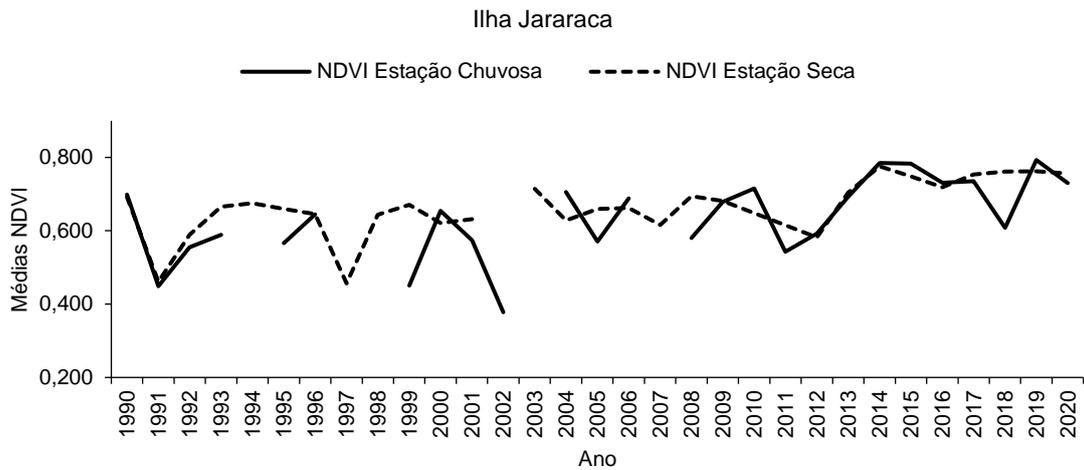
e)



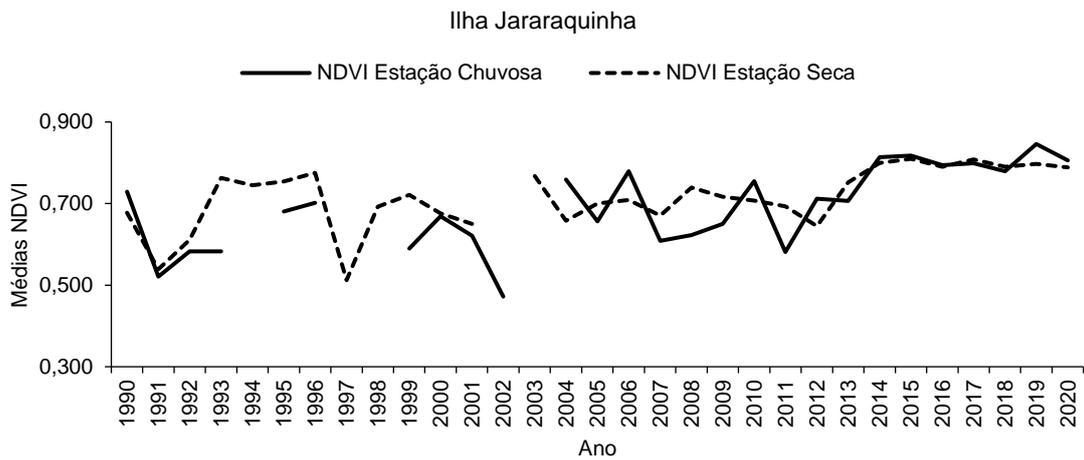
f)



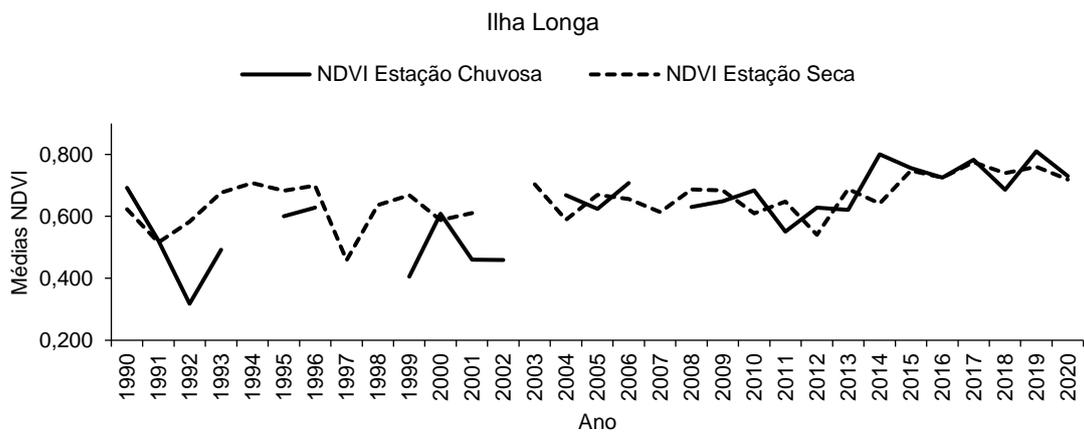
g)



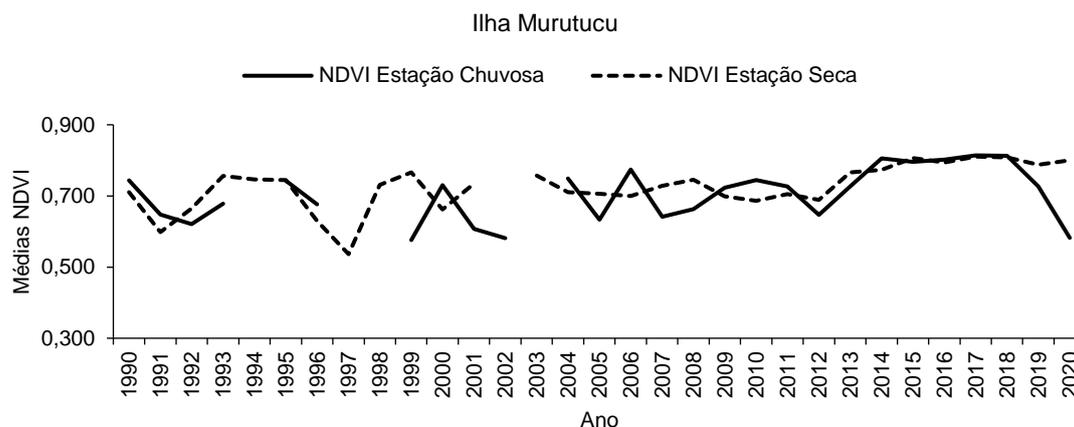
h)



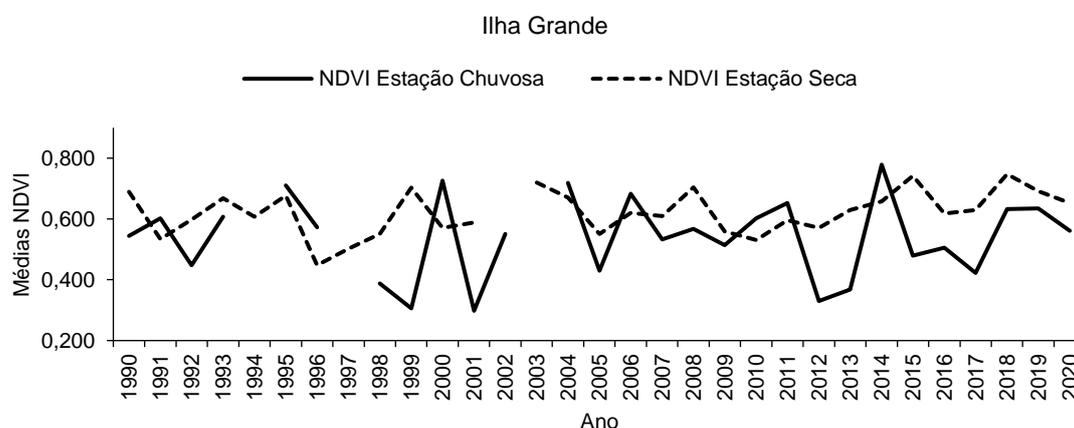
i)



j)



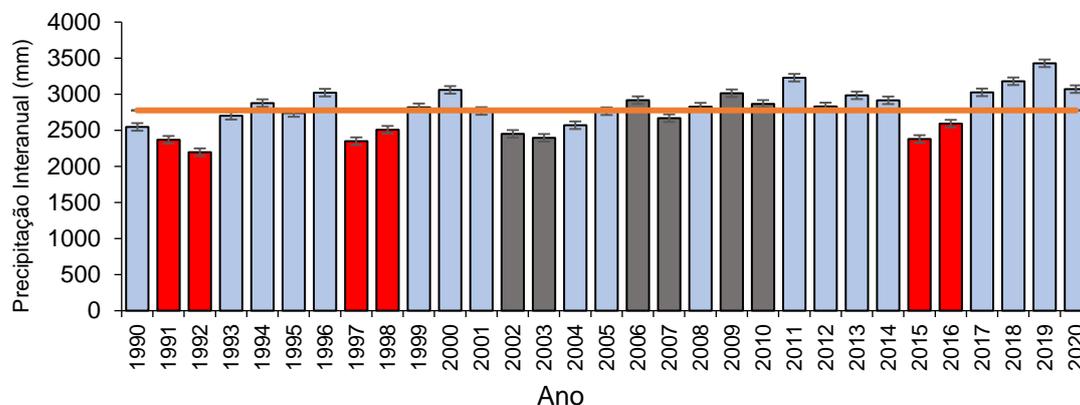
l)



## 5.2 Estudo da precipitação entre os anos de 1990 a 2020

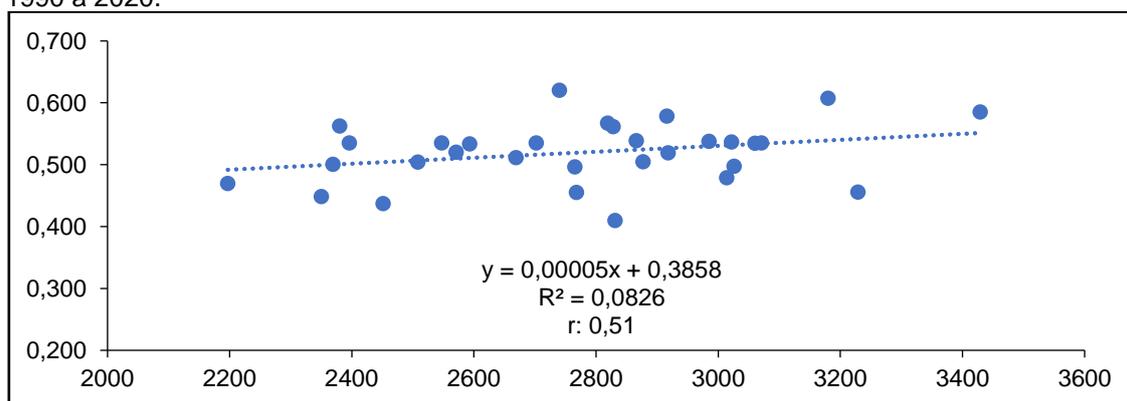
As variações das estimativas de precipitação anual acumulada média entre 1990 e 2020 (Figura 10), apresentam pouca variação pluviométrica significativa. Em alguns anos ocorreram precipitação acima da média (linha laranja: 2.777mm/ano), mais precisamente 652 mm/ano, por volta dos 3.400 mm por ano como ocorrido em 2019, para este mesmo ano, o desvio padrão foi de 119,69. Outro dado interessante foi com relação aos anos com ocorrência do fenômeno *El-Niño*, classificados como *El-Niño* forte e moderado (Figura 10), onde observou-se que os anos em que o fenômeno ocorreu com maior intensidade, as médias de precipitação foram abaixo do valor esperado (Figura 10, traço alaranjado).

Figura 10 - Estimativa da precipitação média anual acumulada, gerada pelo satélite CHIRPS Daily. Os dados representam a média de 31 anos de medidas (1990 a 2020), calculados sobre a região insular de Belém. As barras representam o erro padrão da média. As caixas vermelhas e pretas referem-se à eventos de El Niño forte e moderado, respectivamente. A linha horizontal na cor laranja representa a precipitação anual média no período de 31 anos.



Ao analisar os dados do NDVI conjuntamente com os de precipitação anual acumulada média de todas as ilhas (Figura 11), observa-se uma baixa correlação, entretanto percebe-se uma tendência direta entre o NDVI e a precipitação, principalmente entre os períodos de 1991-1992, 1997-1998 classificados, segundo o INPE classificados como anos de forte *El Niño*. Diante disso, a fim de verificar a correlação entre as duas variáveis, utilizou-se o teste de correlação de Pearson, onde a mesma foi classificada como positiva e moderada, apresentando uma correlação  $r: 0,51$  (Figura 11).

Figura 11 - Análise de correlação de Pearson aplicada às médias anuais no período de estudo entre NDVI e Precipitação pluviométrica para as Ilhas da região insular da Baía do Guajará de 1990 a 2020.

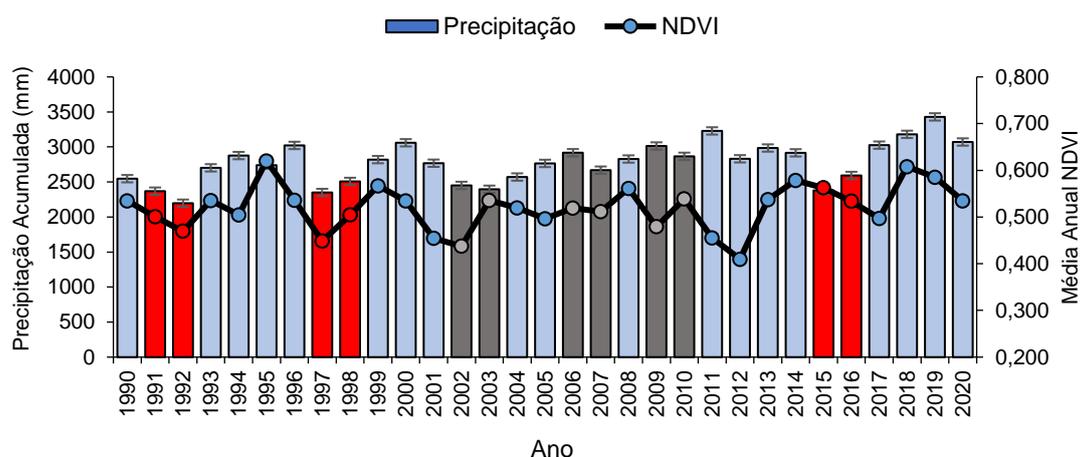


Fonte: Do autor.

A Figura 12 apresenta um comparativo entre as médias mensais tanto do índice de vegetação e das médias de precipitação acumulada média, juntamente

com os respectivos anos de ocorrência do fenômeno *El Niño* de forte a moderado, todos para o período de 1990 a 2020. Observa-se uma queda no NDVI médio nos anos de *El Niño* forte, mais especificamente entre os anos de 1991 a 1992 e 2015 a 2016.

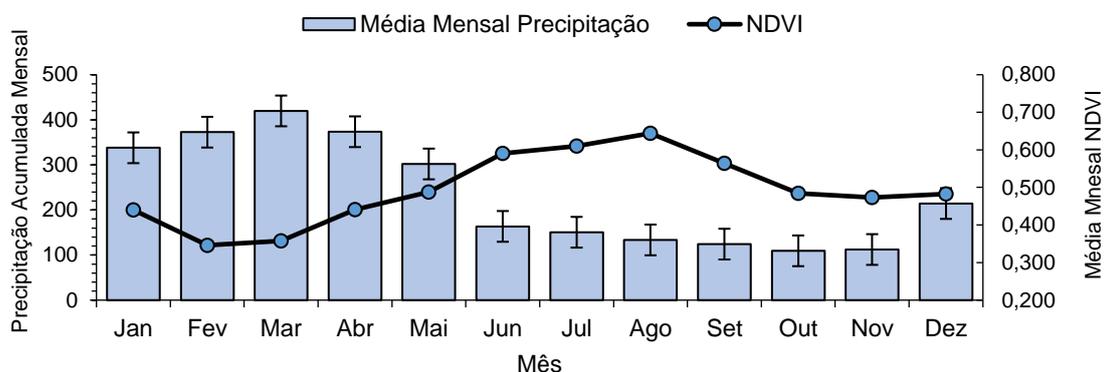
Figura 12 - Variação do NDVI em função das estimativas de precipitação anual do satélite CHIRPS Daily. Os dados representam a média anual de 31 anos (1990 a 2020), calculados sobre a região insular de Belém. As barras de erro padrão são mostradas a cada ano. As caixas vermelhas e pretas referem-se à eventos de *El Niño* forte e moderado, respectivamente.



Fonte: Do autor.

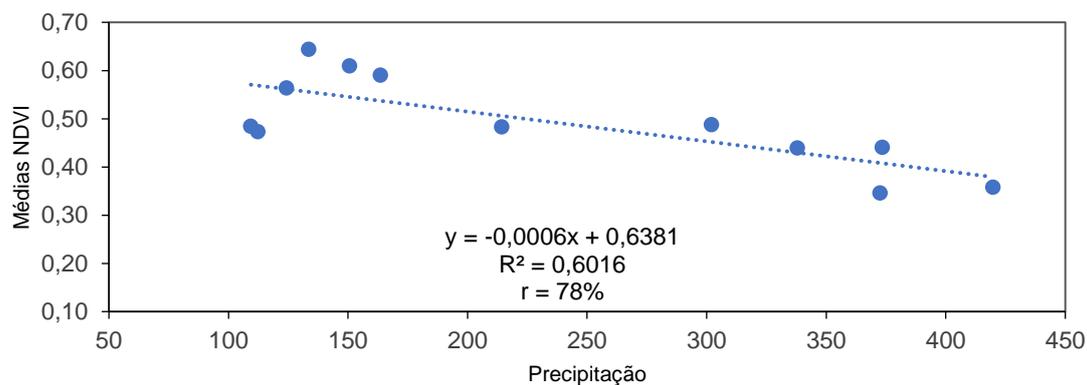
Na Figura 13 fica bastante evidente as respostas espectrais da vegetação nas estações seca e chuvosa. Observa-se que com a chegada da estação seca as médias do índice de vegetação começam a evoluir positivamente, chegando ao valor máximo de 0,644 no mês de agosto, enquanto que a precipitação alcançou uma média de 133,55 mm no mesmo mês.

Figura 13 - Análise estatística por boxplot para período de 1990 a 2020 da variação do NDVI em função das estimativas de precipitação mensal do satélite CHIRPS.



O coeficiente de correlação de Pearson entre a precipitação e o NDVI na estação classificou-se como negativo e moderado para coeficiente de correlação  $R: -0,77$  (Figura 13). Os resultados evidenciam claramente o perfil sazonal da vegetação na região insular de Belém, mostrando alta atividade fotossintética e fitomassa foliar mais intensa no período menos chuvoso, iniciando mais intensamente no mês de maio, indo até outubro. Na região amazônica, estudos como o de Paiva et al. (2016), identificaram que a resposta do NDVI ao déficit/excedente hídrico da vegetação ocorre com certa defasagem, geralmente entre um a quatro meses. Tais resultados são complementados no estudo de Marinho et al. (2016), onde os mesmos concluíram, utilizando o NDVI em diferentes classes de vegetação no município de Dom Eliseu que, no período menos chuvoso (agosto-setembro) as áreas com remanescentes de espécies florestais representaram os picos de NDVI, superiores a 0,6 mostrando a capacidade das espécies em buscar água nas camadas mais profundas do solo para suprir a necessidade de água no período de seca. Isso explica o comportamento do índice de vegetação no período do verão amazônico.

Figura 14 - Análise de correlação de Pearson aplicada às médias mensais no período de 1990 a 2020, entre NDVI e Precipitação pluviométrica, nas ilhas da região insular da Baía do Guajará.

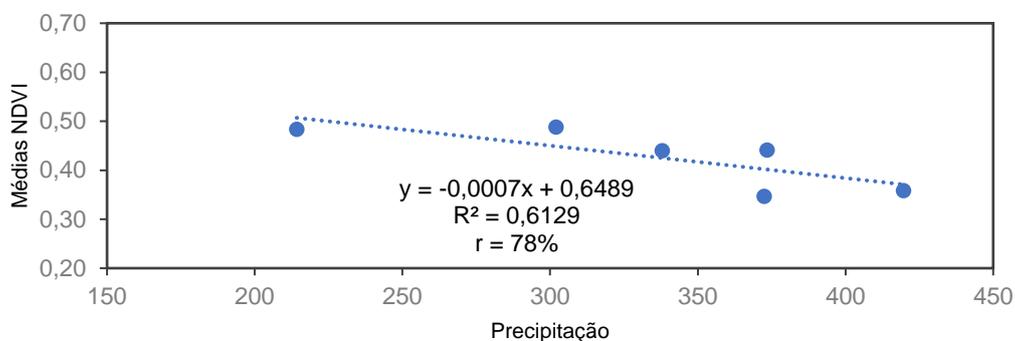


Os gráficos da Figura 14 representam a correlação de Pearson das estações chuvosa (a) e estação seca (b), respectivamente, nos referidos gráficos podemos observar que na estação seca a correlação entre NDVI e precipitação pluviométrica foi negativa e forte, já no período chuvoso a correlação foi positiva e forte.

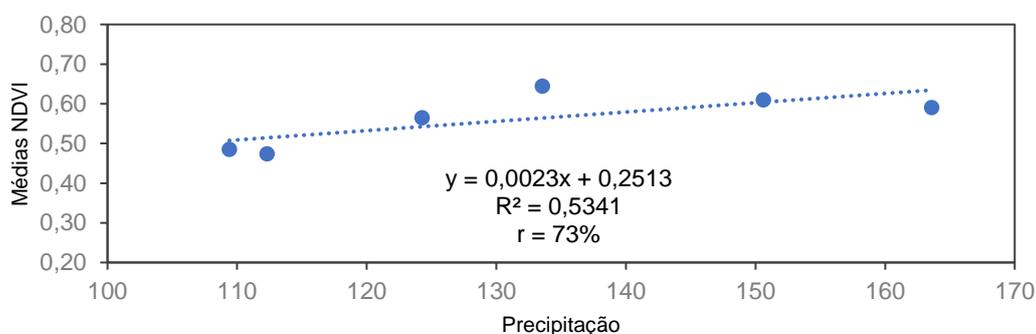
As análises mostram que as oscilações observadas no índice de vegetação da estação seca (b), a partir do mês de agosto, tanto o NDVI quanto a precipitação sofreram uma queda que se estende até novembro.

Figura 15 - Análise de correlação de Pearson entre as médias de NDVI e Precipitação pluviométrica, para a estação chuvosa (a) e estação seca (b).

a)



b)



### 5.3 Levantamento florístico da Ilha do Combú nos anos de 1990 e 2020

O levantamento florístico resultou em 144 indivíduos distribuídos em 8 famílias, 9 gêneros e 9 espécies. As famílias com maior número de indivíduos foram Arecaceae (40,22%) e Malvaceae (25,70%), representando mais de 65% do total identificado. Dentro da família Arecaceae, aproximadamente 65% dos indivíduos é representada pelo gênero *Euterpe*, o qual apresenta também maior densidade relativa com 40,28%, seguida do gênero *Theobroma* que apresentou 25,70%.

A família Arecaceae apresenta também boa área basal, com 1,61m<sup>2</sup>, seguida da família Anacardiaceae com a segunda maior área basal (1,12m<sup>2</sup>). *Euterpe oleracea* destacou-se das demais espécies em número de indivíduos (58), na densidade relativa (40,28%), na dominância relativa (29,05%), no índice de valor de importância (28,37%) e segunda maior área basal com 1,05m<sup>2</sup>. A análise geral das espécies encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros fitossociológicos das espécies arbóreas na amostra (0,3 ha) de floresta de várzea na APA da Ilha do Combú, Belém, Pará, Brasil.

Nome Científico	Nome popular	N	AB	DR	FR	DoR	VC %	IVI %
<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Açaí	58	1,05	40,28	15,79	29,05	34,66	28,37
<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacau	37	0,12	25,69	15,79	3,23	14,46	14,90
<i>Spondias mombin</i> L.	Taperebá	4	1,12	2,78	10,53	31,08	16,93	14,79
<i>Hura crepitans</i> L.	Açacu	4	0,30	2,78	10,53	8,26	5,52	7,19
	Breu							
<i>Protium krukoffii</i> Swart	branco/Breu	1	0,12	0,69	5,26	3,29	1,99	3,08
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha	31	0,58	21,53	15,79	15,96	18,74	17,76
<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Ucuuba/virola	1	0,12	0,69	5,26	3,45	2,07	3,14
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K. Schum.	Cupuacu	6	0,13	4,17	10,53	3,64	3,90	6,11
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	1	0,01	0,69	5,26	0,30	0,50	2,09
<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá	1	0,06	0,69	5,26	1,75	1,22	2,57
<b>Total</b>		<b>144</b>	<b>3,60</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de Flores-Aroni (2021, informação pessoal)  
 Número de indivíduos (N), Área Basal (AB), Densidade Relativa (DR), Frequência Relativa (FR), Dominância Relativa (DoR), Índice de Valor de Cobertura (VC) e Índice de Valor de Importância (IVI).

O levantamento florístico evidenciou um aumento do IVI das seguintes espécies em relação aos anos de 1990 e 2013: *E. oleracea*, e *C. guianensis*. *T. cacao* e *Spondias mombin*<sup>1</sup>, entre os anos de 2013 e 2020. As demais espécies: *Socratea exorrhiza* (Mart.) H. Wendl.<sup>1</sup>, *Q. guianensis*, *A. murumuru*, *Sarcaulus brasiliensis* (A.DC.) Eyma., apresentaram IVI decrescente entre os anos de 1990, 2013 e 2020. Tais resultados podem ser justificados pelo fato de *E. oleracea*, *T. cacao* e *C. guianensis* apresentarem valor econômico, fazendo com que as mesmas sejam plantadas, cultivadas e/ou não cortadas pelos moradores locais. As demais espécies apresentaram queda no IVI devido a diminuição da presença das mesmas e até mesmo o desaparecimento das plantas do sistema agroflorestral. Ferreira (2019) aborda o cultivo do açaí na APA da Ilha do Combú como uma das espécies mais importantes para as comunidades tradicionais nos últimos anos, existindo inclusive a aplicação de práticas de manejo tanto em monocultura quanto em plantios consorciados. Azevedo e Kato (2007) realizaram um levantamento sobre os principais tipos de manejo de açaiuais nativos nas Ilhas de Paquetá e Ilha Grande, região de Belém, Pará, e constataram que um dos sistemas mais utilizados pelos ribeirinhos inclui o cultivo

<sup>1</sup> Espécie de comportamento descido.

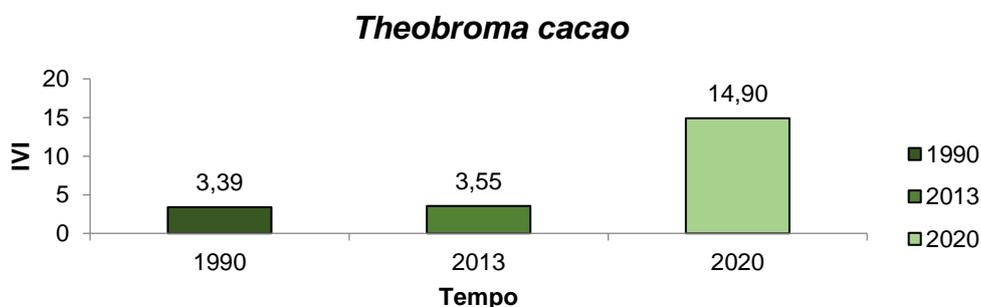
do *T. cacao* consorciado ao açaí. A espécie *C. guianensis* é amplamente utilizada na medicina popular, bastante apreciada por conta de seu óleo que possui ação cicatrizante e anti-inflamatória, por este motivo tal espécie ainda encontra-se preservada na Ilha do Combu (RODRIGUES et al., 2006).

Figura 16 - Comportamento do índice de Valor de Importância das oito principais espécies vegetais, entre os anos de 1990, 2013 e 2020: a) *Euterpe oleracea*; b) *Theobroma cacao*; c) *Carapa guianensis*; d) *Spondias mombin*; e) *Socratea exorrhiza*; f) *Quararibea guianensis*; g) *Astrocaryum murumuru*; h) *Sarcaulus brasiliensis*

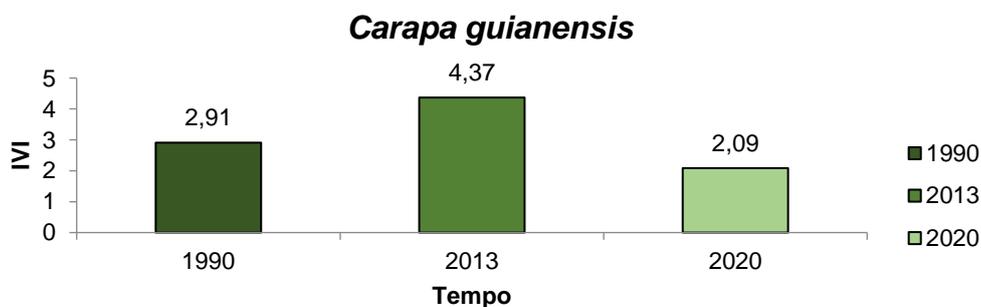
a)



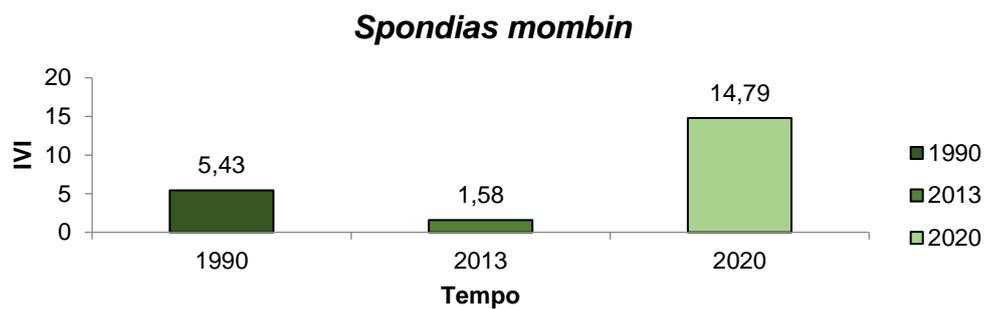
b)



c)



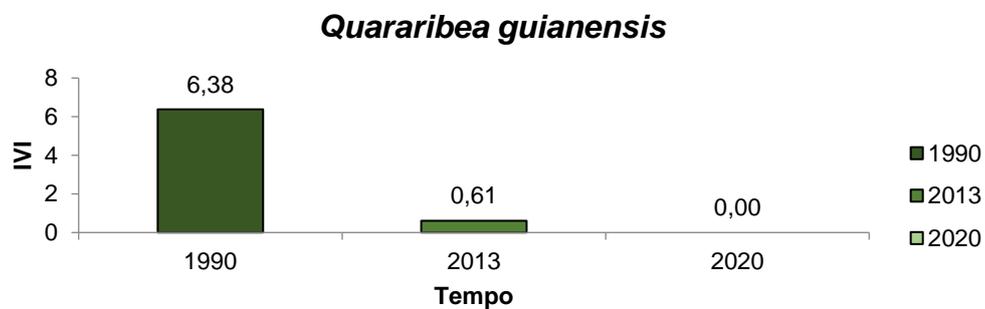
d)



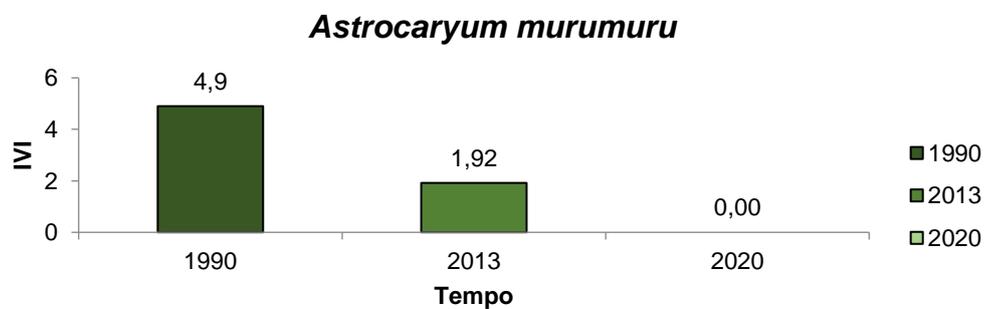
e)



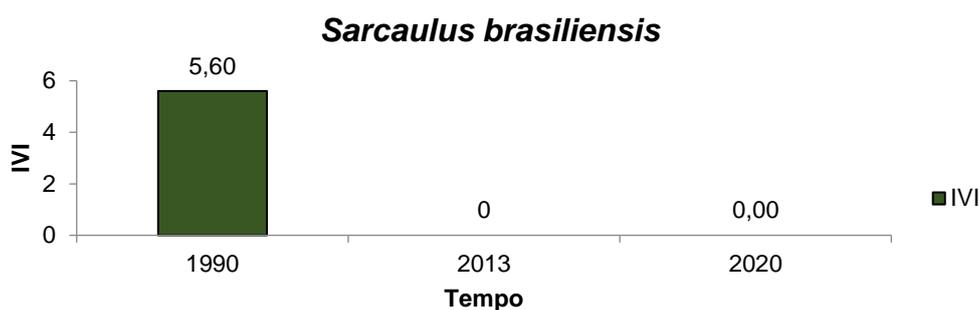
f)



g)



h)



Fonte: Cattanio et al. (2002), Lau *et al.* (2013), Flores-Aroni (2021).

#### 5.4 Análise de uso e cobertura da terra

As alterações de uso e cobertura da terra são evidenciadas nas Figuras abaixo e quantificadas na Tabela 4. Na Figura 16 A e C é possível observar nitidamente o crescimento da área urbanizada na Ilha de Cotijuba, onde no ano de 1990 apresentava área igual a 0,356 km<sup>2</sup> e posteriormente já em 2020 demonstrava um avanço de 1,067 km<sup>2</sup>, contrastando com a classe Formação florestal que reduziu no mesmo período de 12,685km<sup>2</sup> para 10,318 km<sup>2</sup>.

A cobertura da terra das demais ilhas da região insular da Baía do Guajará permaneceu praticamente inalterada, visto que ocorreram apenas a ausência e o surgimento de diferentes classes, a exemplo da Ilha das Onças onde a classe permaneceu entre os anos de 1990 e 2013, porém não houver registro da mesma em 2020, e na Ilha Paquetá que apresentou surgimento da classe pastagem somente no ano de 2020.

Figura 17A- Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 1990.

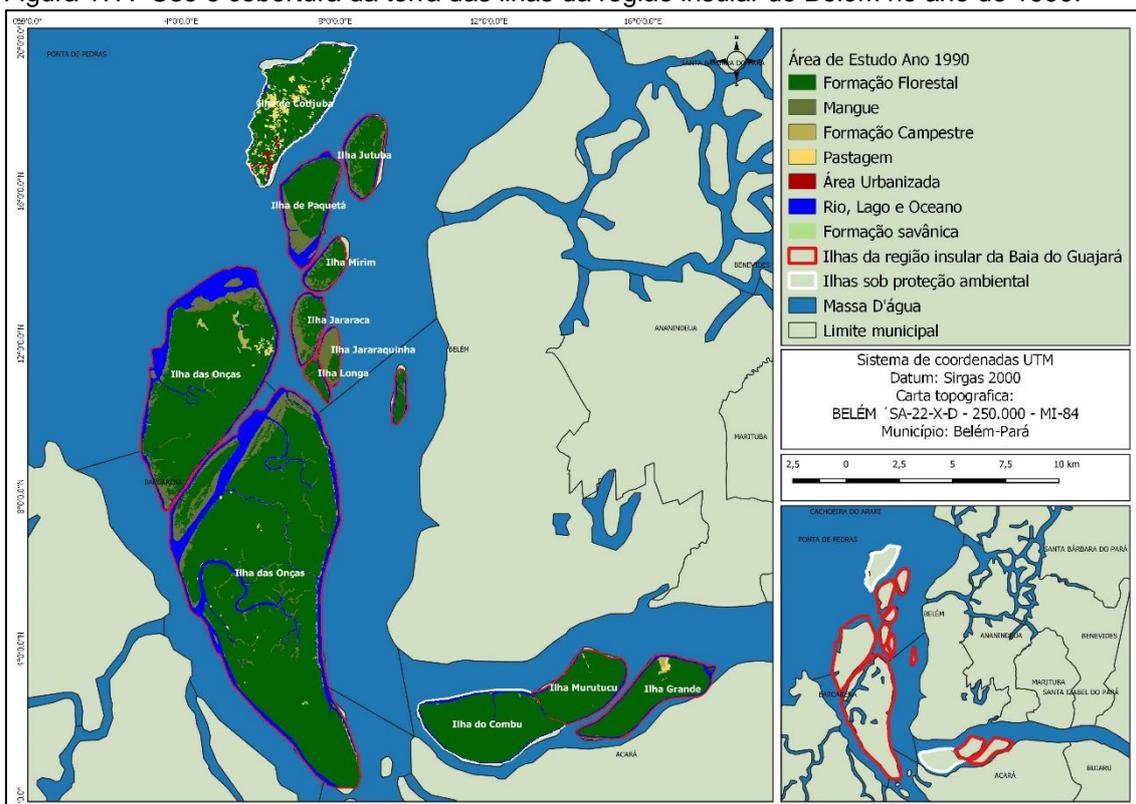


Figura 17B - Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 2013.

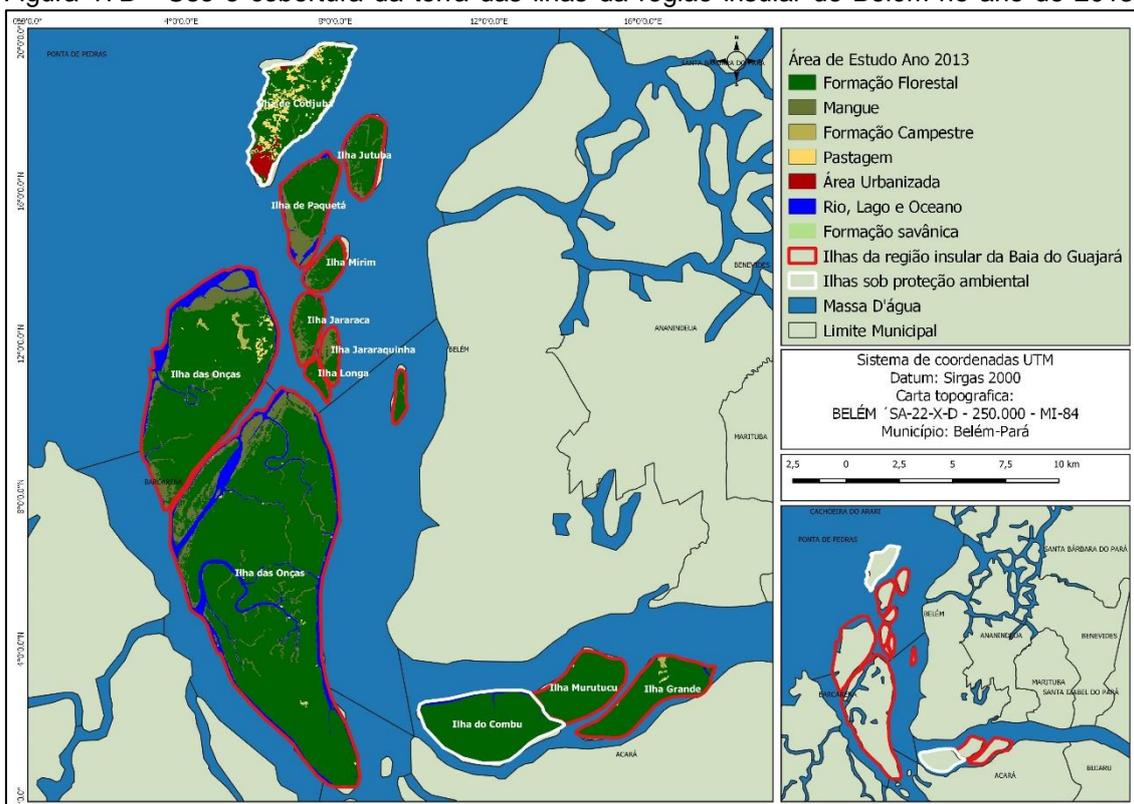
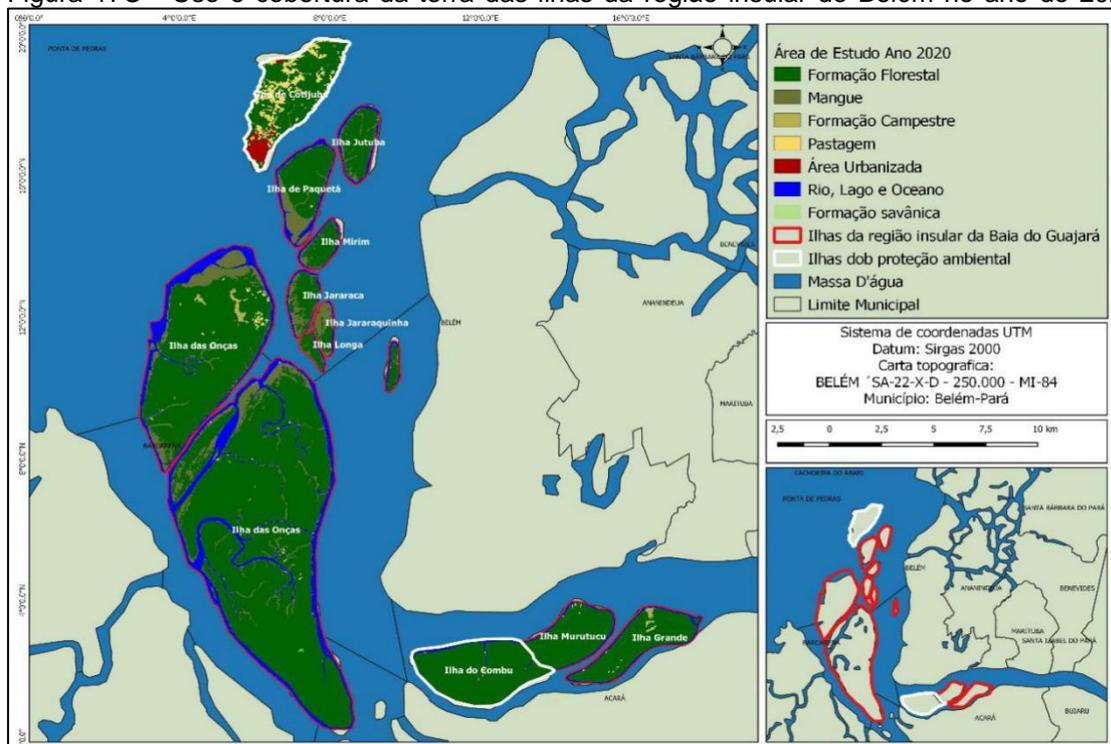


Figura 17C - Uso e cobertura da terra das ilhas da região insular de Belém no ano de 2020.



Fonte: Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass, 2022).

Os dados de uso e cobertura da terra podem explicar o surgimento de novas espécies e o aumento significativo de outras, a exemplo do *T. cacao* que apresentou crescimento 11,51 no IVI entre os anos de 1990 e 2020.

Tabela 4 - Área das classes de uso e cobertura da terra das ilhas da região insular da Baía do Guajará.

a)

<b>Ilha de Cotijuba</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área (km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	12,685	10,865	10,318
Pastagem	2,011	2,842	3,325
Formação Campestre	0,259	0,249	0,216
Mangue	0,229	0,232	0,261
Área Urbanizada	0,356	1,360	1,423
Rio, Lago e Oceano	0,509	0,501	0,450

b)

<b>ILHA DO COMBU</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área (km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	14,851	14,694	14,575
Pastagem	0,005	0,011	0,030
Formação Campestre	0,022		
Rio, Lago e Oceano	1,770	1,944	2,044

c)

<b>ILHA DAS ONÇAS</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	107,965	107,824	108,513
Mangue	10,278	12,226	11,809
Formação Campestre	0,848	0,511	0,542
Pastagem	0,446	0,708	
Rio, Lago e Oceano	14,974	13,252	13,035
Formação Savânica	0,009		0,010
Apicum			0,611

d)

<b>ILHA PAQUETÁ</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	5,019	5,898	5,930
Mangue	1,213	1,859	1,859
Pastagem			0,014
Rio, Lago e Oceano	0,039	0,384	0,338

e)

<b>ILHA GRANDE</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	8,557	8,687	8,644
Pastagem	0,151	0,051	0,085
Rio, Lago e Oceano	0,363	0,333	0,344
Formação Campestre	0,189	0,188	0,186

f)

<b>ILHA JARARACA</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	2,151	2,509	2,370
Mangue	1,320	0,928	1,077
Pastagem			0,002
Rio, Lago e Oceano	0,416	0,450	0,438

g)

<b>ILHA JARARAQUINHA</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	0,502	0,873	0,723
Mangue	1,213	0,794	0,939
Rio, Lago e Oceano	0,039	0,088	0,093

h)

<b>ILHA JUTUBA</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	3,964	4,088	4,187
Mangue	0,990	0,749	0,602
Pastagem		0,012	0,017
Rio, Lago e Oceano	0,262	0,374	0,416
Outras Áreas não Vegetadas	0,005		

i)

<b>ILHA LONGA</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	0,891	0,914	0,893
Mangue	0,144	0,123	0,154
Rio, Lago e Oceano	0,140	0,139	0,129

j)

<b>ILHA MIRIM</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	1,992	2,205	2,203
Mangue	0,696	0,392	0,384
Pastagem	0,006		
Rio, Lago e Oceano	0,185	0,283	0,293

k)

<b>ILHA MURUCUTU</b>			
<b>Classes</b>	<b>1990 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2013 Área(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2020 Área(km<sup>2</sup>)</b>
Formação Florestal	1,992	8,473	8,402
Mangue	0,696	0,014	0,004
Pastagem	0,006	0,005	0,036
Rio, Lago e Oceano	0,185	0,523	0,573

Fonte: Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass 2022).

## 6 CONCLUSÃO

A relação entre o NDVI e a sazonalidade ficaram bastante evidente no gráfico 12, onde percebe-se que com a chegada da estação seca o índice de vegetação cresce chegando a 0,644. Já a relação entre NDVI e períodos de influência do fenômeno El Niño apresentou crescimento simultâneo apenas entre os anos de 1991 a 1992 e 2015 a 2016, pois percebe-se uma queda do NDVI, entretanto nos demais períodos as variáveis mostraram-se bastante descoordenadas.

As alterações na dinâmica florística evidenciadas no estudo amostral realizado na APA da Ilha do Combú demonstraram a inserção de espécies exóticas na referida Ilha, como pode ser constatado no IVI da espécie *T. Cacao*, contrastando com as perdas de espécies nativas a exemplo da *S. brasiliensis*. Tais fatos demonstram que as mudanças na cobertura florestal da Ilha estão ocorrendo constantemente ao longo do tempo, mesmo que os dados de uso e cobertura da terra não apontem alterações significativas

## REFERENCIAS

AGUIAR, A. G. R; MARTINS, P. S; SIMÕES, V. A. Efeitos da intensidade do desbaste de estípes de açazeiros (*Euterpe oleracea* Mart.) nativos na composição de parcelas de produção em várzea do estuário amazônico. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 4, p. 358-365, nov. 2017.

ALMEIDA, A. F. ; JARDIM, M. A. G. A utilização das espécies arbóreas da floresta de várzea da Ilha de Sororoca, Ananindeua, Pará, Brasil por moradores locais. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Belém, v. 23, p. 48-54, mar. 2012.

ALMEIDA, D. N. O. et al. Análise das bacias hidrográficas do rio Brígida, rio Terra Nova e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores 9 (Gi9) de Pernambuco usando índices de vegetação e de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27, 2017, Rio de Janeiro–RJ. **Anais[...]**. Rio de Janeiro–RJ:[INPE], p.00-00.

BAYMA, A. P; SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor modis para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 1251-1262, n. 4, out-dez 2015.

BERKES, F; COLDING, J; FOLKE, C. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. **Aplicações ecológicas**, v. 10, p.797-813, n. 5, outubro 2000.

BRANDÃO, Z. N; BEZERRA, M. V. C; FREIRE, E. C; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: O agronegócio do algodão no Brasil: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. Brasília-DF

BREIMAN, L. Random forests. **Machine learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

BASTOS, Terezinha Xavier. O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen. Belém: **EMBRAPA-CPATU**, 1982.

CABRAL, E. R; ROSA, C. C. OS Impactos socioambientais e econômicos do turismo: o caso da Ilha do Combú, no entorno da cidade de Belém–Pa. In: **Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade-CODS**, VII, 2017. Anais. v. 7, Belém - PA.

CASTRO, A. L. C; CALHEIROS, L; CUNHA, M; BRINGEL, M. Desastres naturais. Brasília: **Ministério do Planejamento e Orçamento**; 1996

CATTANIO, J. H., ANDERSON, A. B., CARVALHO, M. S. Floristic composition and topographic variation in a tidal floodplain forest in the Amazon Estuary. **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, n. 4, p. 419-430. Dezembro 2002.

CAVALCANTE, J. da C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELO, T. Bandeira. Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do google earth engine em área de savana Amazônica e floresta secundária, no município de Vigia – PA. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 1, p. 64-70, 29 jun. 2020.

COSTA, J. C.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo chirps para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 15, v. 24, p. 228-243, jan-jun. 2019.

CUNHA, Y. **Expansão da cultura da palma de óleo nos últimos 30 anos nos principais municípios produtores no Estado do Pará utilizando a plataforma Google Earth Engine**. Orientador: João Almiro Corrêa Soares. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2019.

CURTIS, J. T.; MCINTOSH, R. P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, n. 31, p. 434-455, 1950.

DIAS, S.F. et al. **Zoneamento ecológico econômico do Estado do Pará**. Belém: IDESP, 1991. v.1 (IDESP - Estudos Paraenses, 058).

FERRAZ, J. S. F.; ALBUQUERQUE, U. P.; MEUNIER, I. M. J. Valor de uso e estrutura da vegetação lenhosa às margens do riacho do Navio, Floresta, PE, Brasil. **Acta Bot. Bras**, v. 20, n. 1, p. 125-134. Mar. 2006.

FERREIRA, L.V. Effect of flooding duration on species richness, floristic composition and forest structure in river margin habitats in Amazonian blackwater floodplain forests. **Mycological Progress**, v. 9, p. 1-14. Jan. 2000.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n.1, p. 1-21, Dez. 2015.

GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; MARTINS, S. V.; SOUZA, D. R. Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do estado do Pará. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 607-616. Ago. 2005.

GAMA, J. R. V.; BENTES GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 719-729, out. 2005.

GAO, B. C. NDWI- A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**, v.58, n.3, p.257- 266. Abr. 1996.

LAÍZY, S. A.; CARLOS, B. L. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na área de proteção ambiental triunfo do xingu (pa) utilizando o google earth engine. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, p. 244-256. n. 2, jul-dez 2020.

MEIRELLES, J. Belém ribeirinha. [S.l.]: **Instituto Peabiru**, dez. 2015.

HAMP, R.S. **A study of the factors affecting the productivity of açai palm (Euterpe oleracea Mart.) on Combú island, near Belém, northern Brasil.** 1991. 30f. Dissertation of Master of Science - University of London, Birckbeck College, 1991.

HOMMA, A.K.O.; CARVALHO, J. E. U.de; MENEZES, A. J. E. A.de; FARIAS NETO, J. T.de. Custo operacional de açazeiro irrigado com microaspersão no município de Tomé-Açu, Pará. In: HOMMA, A. K. O. (ed. tec.). **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação.** Brasília,DF: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. cap. 9 p. 157-165. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1016681/1/Cap9.pdf>. Acesso em 16 out 2022.

HUETE, A. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2006.

JARDIM, M. A. G.; MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. (org.). **Açaí: possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico.** Belém: MPEG, 2004.

JARDIM, M.A.G. **Aspectos da biologia reprodutiva de uma população natural de açazeiro (Euterpe oleracea Mart.) no Estuário amazônico.** 1991. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - SP, 1991.

JARDIM, M.A.G.; AMARAL, D.D.; SANTOS, G.C.; MEDEIROS, T.D.S.; SILVA, C.A.; FRANCEZ, D.C.; COSTA NETO, S.V. Análise florística e estrutural para avaliação da fragmentação nas florestas de várzea do estuário amazônico. In: JARDIM, M. A. G.; MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. (org.). **Açaí: possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico.** Belém: **MPEG**, 2006. p. 101 – 121.

JARDIM, M. A. G.; VIEIRA, I. C. G. Composição florística e estrutura de uma floresta de várzea do estuário amazônico, Ilha do Combú, estado do Pará, Brasil: Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, **Série Botânica**, v. 17, n. 2, p. 333-354, dezembro 2001.

JARDIM, M.A.G.; CUNHA A.C.C. **Caracterização de populações nativas de palmeiras do estuário amazônico:** Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. série Botânica, n. 14, P. 33-41, 1998.

JUNGES, A. H.; ALVES, G.; FONTANA, D. C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13., 2007, Florianópolis, **Anais[...]**. Florianópolis: [s.n], 2007. p. 241-248.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. New York: Harper & Row, Publ., 1989. 654p.

LAU, A. V.; JARDIM, A. G. Composição e densidade do banco de sementes em uma floresta de várzea, Ilha do Combú, Belém-PA, Brasil. **Biota Amazônia**, n. 3, v. 4, p. 5-7, 2014.

LENTINI, Marco; DENYS, Pereira; DANIELLE, Celentano; RITAUMARIA, Pereira. Fatos Florestais da Amazônia 2005. Belém: **Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia**, 2005.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MAPBIOMAS. **Projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil**. 2020. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acessado em 11 mar 2022.

MC, F. B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Kppen-Geiger climate classification. **Hydrol Earth Syst Sci**, n. 11, v. 5, p. 439-473, Oct. 2007.

MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília,DF: **Editoras UnB- Embrapa Cerrados**, 2001. 262p.

MORAES, Elisabete Caria. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. [S.l.:s.n], 2002. cap. 1.

MOURÃO, Roberto MF. Manual de melhores práticas para o ecoturismo. Rio de Janeiro: **FUNBIO**, p. 45, 2004.

GORELICK, Noel. Google Earth Engine. *In: EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE*, 2013, [S.l.]. **Abstracts[...]**. 2013. p. 11997.

GORELICK, N; MATT, H; MIKE, D; SIMON, I; DAVID, T; REBECCA, M. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, Jul. 2016.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MULLER, A. A. **Açaí**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. p. 137. (Sistemas de Produção, 4).

OSTROM, E; BURGER, J; FIELD, C. B; NORGAARD, R. B; POLICANSKY, D. Revisiting the commons: local lessons, global challenges. **science**, v. 284, n. 5412, p. 278-282, Abril 1999.

PAIVA, C. M; ALICE, S. G. J; BORGES, F. G; OLIVEIRA, L. M. Análise dos Efeitos do Déficit Hídrico na Resposta Temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Estado do Amazonas. **Ciência e Natura**. V. 38, n.2, p. 1054-1076, Mai 2016.

PANTOJA, M; MOTA, M. A; JARDIM, M. A. G. Influência da precipitação pluviométrica na regeneração natural em uma floresta ombrófila densa aluvial, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.04, p. 1302-1309. janeiro 2019.

PEREIRA, G; CARDOZO, F. S; NEGREIROS, A. B; ZANIN, G. D; COSTA, J. C; LIMA, T. E. R; RUFINO, P. R; RAMOS, R. C. Análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, ano. 14, p. 213-229, nov. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/61028>. Acesso em: 05 jun 2020.

PEREIRA, G; MARIA, E. S. S; ELISABETE, C. M; FRANCIELLE, S. C. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139-148, maio 2013.

POZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R., Madeira Netto, J. S. ed. Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais: **Editora Universidade de Brasília**. V. 1, p.157-195. Brasília 2001.

QUARESMA, S. M; DA CUNHA, E. Baker. Manejo de açáizais, como prática de gestão e educação. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 100-120. Dezembro 2012.

QUEIROZ, J. A. L; DO AMARAL MACHADO. Potencial de utilização madeireira de espécies florestais de várzea no município de mazagão no estado do Amapá. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 293-302. Janeiro 2007.

QUEIROZ, José Antonio Leite, et al. Composição florística e estrutura de floresta em várzea alta estuarina Amazônica. **Floresta**, v. 35, n. 1, p. 41-56. abril 2005.

ROCHA, A. C. da S. L.; MORAES, L. M. Contexto da população Ribeirinha do Município de Belém. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e14610313173, 2021. Disponível em: <https://www.rsdsjournal.org/index.php/rsd/article/view/13173>. Acesso em: 22 ago. 2021.

RODRIGUES, L. M. B. Composição florística e usos das espécies vegetais de dois ambientes de floresta de várzea. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 87, n. 2, p.45-48, maio 2006.

RODRIGUES, C; EDUARDO, H; BARRETO, N; LARISSA, F. C; MARIA, M; CHAGAS, S. M. R. Variação temporal do fitoplâncton em um rio tropical pré-amazônico (Rio Pindaré, Maranhão, Brasil). **Ciência e Natura**. V. 37, n. 2, p. 241-251, abril 2015.

ROSA, P. A; FÁBIO, M. B; Rafaelo, B; Lênio, S. G. Dinâmica da floresta do parque estadual do turvo com índices de vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487-499, out-dez 2013.

ROSENDO, Jussara. dos Santos. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor Modis**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2005. 2005.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, dezembro 1973.

SANTOS, L. H. O. Correlação entre uniformidade e NDVI em povoadamentos de *Tectona grandis* L. f. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 130-136, 2019.

SANTOS, S. R. M.; MIRANDA, I. S.; TOURINHO, M. M. Análise florística e estrutural de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 251-263, março 2004.

SANTOS, Lucas Henderson Oliveira et al. CORRELAÇÃO ENTRE UNIFORMIDADE E NDVI EM POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 130-136, 2019.

SCHLAGER, Edella; OSTROM, Elinor. Property-rights regimes and natural resources: a conceptual analysis. **Land economics**, v. 68, n. 3, p. 249-262, agosto 1992.

SHIRATSUCHI, Luciano; BRANDÃO, Ziany; VICENTE, Luiz; VICTORIA, Daniel; DUCATI, Jorge; OLIVEIRA, Ronaldo; VILELA, Marina. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, Alberto Carlo de Campos et al. (eds.). **Agricultura de precisão: resultado de um novo olhar**. Brasília,DF: Embrapa, 2014. cap 4 p. 58-74.

SILVA, A. L. F. **Estudo de seca na Península Ibérica usando o Google Earth Engine**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2018.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno**. 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Pará, 1995.

UNIDADES de conservação no estado do Pará. In: INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL E DA BIODIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ. **Base de dados tropical**. 1985. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/ilha-do-Combú/>. Acesso em: 29 março 2020.

VALOIS, Afonso. **Benéficos e estratégias de utilização sustentável na Amazônia**. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2003. 75 p.

WILKIE, D. S.; FINN, J. T. **Remote sensing imagery for natural resources monitoring: a guide for first-time users**. New York: Columbia University Press, 1996. 295p. (ISBN-13 - 978-0231079280)

WILSON, E.H.; SADER, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.80, n. 1, p. 385-396, junho 2002.

ZENG, H.; WU, B.; ZHANG, N.; TIAN, F.; PHIRI, E.; MUSAKWA, W.; MASHONJOWA, E. Análise espacial da precipitação na bacia do rio Zambezi pouco medido usando sensoriamento remoto e motor Google Earth. **Sensoriamento Remoto**, v. 11, E. 24, p. 1-19, Dez. 2019.