



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ - UNIFAP
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo

Severino Pereira Mancio Filho

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO OIAPOQUE POR SATÉLITE - TROPICAL RAINFALL MEASURING
MISSION (TRMM) – 1998/2019**

MACAPÁ, AP
2021

Severino Pereira Mancio Filho

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO OIAPOQUE POR SATÉLITE - TROPICAL RAINFALL MEASURING
MISSION (TRMM) – 1998/2019**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amapá, como requisito para obtenção do grau de mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Paisagem e Dinâmicas Ambientais.

Orientador: Dr. José Mauro Palhares

MACAPÁ, AP
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborado por Mário das G. Carvalho Lima Júnior – CRB-2/1451

Mancio Filho, Severino Pereira.

Análise da variabilidade climática da bacia hidrográfica do rio
Oiapoque por satélite – Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) –
1998/2019 / Severino Pereira Mancio Filho; orientador, José Mauro
Palhares. - Macapá, 2021.

98f.

Dissertação (Mestrado) - Fundação Universidade Federal do Amapá,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.

1. Bacias hidrográficas - Amapá. 2. Satélites artificiais em pesquisa
geográfica. 3. Mudanças climáticas. I. Palhares, José Mauro, orientador. III.
Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD – 551.48 / M269a

Severino Pereira Mancio Filho

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO OIAPOQUE POR SATÉLITE - TROPICAL RAINFALL MEASURING
MISSION (TRMM) – 1998/2019**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amapá, como requisito para obtenção do grau de mestre em Geografia. Linha de pesquisa: Paisagem e Dinâmicas Ambientais.

Aprovado em:

_10 / 12 / 2021

Conceito: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JOSE MAURO PALHARES

Data: 10/12/2021 10:12:28-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

ORIENTADOR: DR. JOSÉ MAURO PALHARES
PPGEO/Universidade Federal do Amapá-UNIFAP

Documento assinado digitalmente



Alexandre Luiz Rauber

Data: 10/12/2021 10:58:21-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

DRº ALEXANDRE LUIZ HAUBER
PPGEO/ Universidade Federal do Amapá-UNIFAP

Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer
Márcia Aparecida Procópio da Silva Scheer
Professora
SIAPE 1562714

DRª MÁRCIA APARECIDA PROCÓPIO DA SILVA SCHEER
Universidade Federal da Integração Latino Americana - UNILA

Ao meu filho Dimitri Figueiredo Mancio e minha esposa Leníria Rodrigues Figueiredo, pela compreensão e incentivo incansável aos estudos, gestos, palavras e afeto.

Aos meus pais, Deuza Bentes de Paiva e Severino Pereira Mancio,
pelo carinho dado.

Aos meus irmãos e toda minha família.

A todos aqueles que lutam e lutaram pela vida frente a COVID-19.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, principalmente, a minha mãe Deuza Bentes de Paiva e meu pai Severino Pereira Mancio. Aos meus irmãos Glezil Mancio, Gleyson, Glezya, Marcos Vinicius e Analu Mancio, pelos momentos de alegria e descontração. Aos meus tios e tias tanto paternos quanto maternos, meus primos e primas.

Aos professores da Universidade Federal do Amapá do Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGEO, que contribuíram para a minha formação intelectual no período do curso. Em especial ao professor Drº José Mauro Palhares pela tranquilidade, orientação e ensinamentos no decorrer da pesquisa.

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá - IEPA, através do Centro de Pesquisas Aquáticas – CPAq, e do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais Aplicado a Ecossistemas Aquáticos – LASA, por toda a infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha co-orientadora, Drª. Valdenira Ferreira dos Santos, por seus valiosos ensinamentos e “puxões de orelhas”, que favoreceram não só a minha formação científica, mas meu crescimento como pessoa na busca por contribuir para uma sociedade melhor.

Ao meu amigo Drº Luis Mauricio Abdon pelas horas e horas de ensinamentos dos cálculos estatísticos que contribuíram para este trabalho. “where Heave Metal is the law”.

A todos os meus amigos do IEPA/CPAq/LASA: Marta, Kerly, Edneuza, Francinete, Emylli, Mari Sanches, dentre tantos que fiz durante esta parte da minha caminhada.

Aos meus valiosos amigos professores da rede pública de educação do estado do Amapá: Felipe Garcia, July Francisca, Marcos Humberto, Jaciara Moura, Rozana Martins, Alexandre, Ronaldo. Por fim a Marcus Keynes

Em especial à Leníria Rodrigues Figueiredo, uma pessoa que me compreendeu durante todo o curso de graduação e mestrado em Geografia, sobretudo e no pós curso. Em meio às viagens de campo, momentos de alegrias e horas difíceis (de chutar o balde), obrigado pelo amor e carinho a mim destinado.

A todos, o meu obrigado.

“Eu acredito que às vezes são pessoas que ninguém espera nada,
que fazem as coisas que ninguém consegue imaginar”.

Alan Turing

Resumo

A variação dos elementos do clima resulta de uma atmosfera não estática podendo mudar de local no decorrer do tempo e escala. Os aspectos da precipitação na Amazônia e no Amapá têm influência no ciclo hidrológico. É um fator primordial para a vazão da bacia hidrográfica. Os produtos do satélite *tropical rainfall measuring mission*-TRMM e pluviômetros são utilizados para observar a variabilidade climática dentro de bacias hidrográficas obtendo resultados na compreensão da variabilidade e correlação com a hidrologia dos rios. Neste sentido, a pesquisa teve como objetivo analisar as características climáticas e a sua influência na dinâmica fluvial para a bacia hidrográfica do rio Oiapoque por meio do satélite TRMM. Analisar as características da dinâmica fluvial através dos dados fluviométricos, para a bacia hidrográfica. Entender a relação e a influência do clima na dinâmica fluvial. Afim de estabelecer um estudo preliminar dessa relação precipitação, eventos extremos e vazão. Desse modo foram utilizados uma série de 1981 até 2019 de dados de vazão e precipitação das estações pluviométricas e do TRMM, produto 3B43v7 de 1998 a 2019, a partir desses dados foram tratados estatisticamente utilizando métodos de comparação e correlação estatística. A variabilidade do total anual da precipitação é superior a 4.000mm, o fluxo hídrico da bacia do rio Oiapoque, na medida que os volumes de precipitação aumentam o volume da água da cota e vazão se elevam. Das análises efetuadas concluiu-se que as estimativas de precipitação do satélite TRMM possuem acurácia consistente para a bacia do Rio Oiapoque. A análise multitemporal da variabilidade climática fornecidas pelo produto 3B43v7, forneceu um parâmetro da espacialização das chuvas, bem satisfatório mostrando como os volumes de precipitação se comportam ao longo dos anos. Os resultados da correlação entre os dados mostraram uma boa concordância das variantes. As medições de precipitação e vazão estão ligadas ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical e os fenômenos do El Niño e La Niña. Uma vantagem adicional das estimativas de precipitação por satélite é o preenchimento de lacunas em áreas onde não existem ou estações pluviométricas são esparças umas das outras. O entendimento destes fatores em uma bacia hidrográfica é muito importante, por auxiliar no planejamento para gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Satélite TRMM; Precipitação; Variabilidade Climática.

Abstract

Variation in weather elements results from a non-static atmosphere that can change location over time and scale. Precipitation aspects in the Amazon and Amapá influence the hydrological cycle. It is a key factor for the flow of the watershed. TRMM satellite products and rainfall gauges are used to observe climate variability within river basins, resulting in the understanding of variability and correlation with river hydrology. In this sense, the research aimed to analyze the climatic characteristics and its influence on the fluvial dynamics for the hydrographic basin of the Oiapoque river through the TRMM satellite. Analyze the characteristics of fluvial dynamics through pluviometric data for the hydrographic basin. Understand the relationship and influence of climate on fluvial dynamics. In order to establish a preliminary study of this relation between precipitation, extreme events and flow. Thus, a series from 1981 to 2019 of flow and precipitation data from pluviometric stations and from TRMM, product 3B43v7, was used, from which data were statistically treated using methods of comparison and statistical correlation. The variability of the total annual precipitation is greater than 4,000mm, the water flow of the Oiapoque river basin, as the volumes of precipitation increase the volume of water in the quota and flow increases. From the analyzes carried out it was concluded that the precipitation estimates from the TRMM satellite have consistent accuracy for the Oiapoque River basin. The multitemporal analysis of climate variability provided by the 3B43v7 product provided a parameter of the spatialization of rainfall, which was quite satisfactory, showing how rainfall volumes behave over the years. The results of the correlation between the data showed a good agreement of the variants. Precipitation and flow measurements are linked to the displacement of the ZCIT and the El Niño and La Niña phenomena. An additional advantage of satellite precipitation estimates is that it fills gaps in areas where there are no or rainfall stations are separate from each other. The understanding of these factors in a hydrographic basin is very important, as it helps in planning for the management of water resources.

Keywords: Hydrographic basin; TRMM Satellite; Precipitation; Climatic Variability.

Lista de figuras

Figura 01: Localização da bacia hidrográfica do rio Oiapoque.....	18
Figura 02: Unidades morfoestruturais do estado do Amapá.....	20
Figura 03: Espacialização das unidades de relevo da Guiana Francesa e Amapá (Brasil).....	21
Figura 04: Mapa da Região hidrográfica Amazônica e Sub-bacias.....	22
Figura 05: Distribuição latitudinal da insolação anual.....	26
Figura 06: Anomalia da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico.....	27
Figura 07: Evolução temporal do Índice do El Niño e La Niño Oceânico de 1950 até 2020.....	28
Figura 08: Nuvens na banda espectral infravermelho termal do conjunto de satélites NOAA.....	30
Figura 09: Padrão de distribuição latitudinal de precipitação.....	31
Figura 10: Precipitação média anual para setembro de 2020.....	32
Figura 11: Zonas de pressão e ventos no globo terrestre.....	33
Figura 12: Posicionamento da Zona de Convergência Intertropical.....	34
Figura 13: Sistema de classificação climática de Köppen a partir do trabalho de Peel, 2007.....	37
Figura 14: Faixa sobrevoada pelo satélite TRMM.....	41
Figura 15: Regiões hidrográficas localizadas no Brasil com destaque para a Bacia do Rio Oiapoque	45
Figura 16: Conexões dos processos na bacia hidrográfica e costa Amazônica com o clima.....	50
Figura 17: Mapa de classificação climática de Köppen-Geiger para o Brasil.....	51
Figura 18: Diagrama esquemático da nebulosidade associada às linhas de instabilidade.....	54
Figura 19: Efeitos globais dos fenômenos El-Niño/La-Niña entre os meses de junho, julho, agosto e dezembro, janeiro e fevereiro com desenvolvimento de um período acentuadamente menos chuvoso nos eventos de El-Niño e de condições mais chuvosas nos eventos de La Niña.....	55
Figura 20: Estruturação da aquisição dos dados do TRMM.....	60
Figura 21: Delimitação da bacia hidrográfica do rio Oiapoque, grade de pixels do satélite TRMM com valores de precipitação. Processamento dos dados do produto 3B43 v7.....	61
Figura 22: Disposição dos dados da estação pluviométrica; satélite TRMM e Vazão, e os respectivos intervalos de coletas de informação.....	62
Figura 23: Classificação da pluviosidade segundo o IAC.....	64
Figura 24: Delimitação da bacia hidrográfica do rio Oiapoque, grade de pixels do satélite TRMM com valores de precipitação.....	68

Figura 25: Composição colorida das imagens de precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque de 1998 a 2019. Satélite TRMM.....69

Lista de gráficos

Gráfico 01 – Comparativo de temperatura máxima Estação Macapá.....	52
Gráfico 02 – Umidade relativa do ar em %, Estação Macapá de 30 setembro à 10 de outubro.....	53
Gráfico 03 – Estimativas de precipitação da estação Pluviométrica do Oiapoque.....	58
Gráfico 04 – Precipitação total anual (1981-2019) a partir da estação pluviométrica Oiapoque.....	65
Gráfico 05 – Comparação da média anual dos dados de vazão e precipitação entre 1981-2019.....	66
Gráfico 06 – Curva chave, com serie de dados de 1983-2021. Estação do Cricou. Rio Oiapoque.....	67
Gráfico 07 – Precipitação mensal média na Bacia do Rio Oiapoque para os anos de 1998 até 2019 do satélite TRMM.....	71
Gráfico 08 – Comparação dos dados da estação pluviométrica e do satélite TRMM de 1998 até 2019.....	73
Gráfico 09 – Correlação dos dados da estação pluviométrica de Oiapoque (ANA) com o satélite TRMM.....	74
Gráfico 10 – Linha de tendência e correlação entre as médias mensais de precipitação do TRMM, da estação pluviométrica e médias mensais da vazão.....	75
Gráfico 11 – Índice de Anomalia de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque.....	77
Gráfico 12 – Destaque para os anos de ocorrência do El Niño e La Niña comparados com dados de vazão e precipitação média anual da estação pluviométrica.....	79

Lista de quadros

Quadro 01 - O modelo de classificação de Köppen.....	35
Quadro 02 - Modelos de classificação climática para a Amazônia.....	38
Quadro 03 - Estações pluviométricas e Fluviométricas utilizadas na pesquisa.....	59
Quadro 04 - Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.....	76
Quadro 05 - Ocorrência dos fenômenos ENOS relacionado a precipitação e vazão média anual.....	76

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Características populacionais dos municípios que compõe a bacia do rio Oiapoque.....	24
Tabela 02 – Variação na altitude da base das nuvens, nas diversas zonas latitudinais, em metros.....	29
Tabela 03 - Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.....	57
Tabela 04 - Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.....	64

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANA	Agência Nacional de Águas
BHRO	Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CCNB	Corrente Costeira Norte Brasileira
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ENOS	Southern Oscillation
GESDISC	Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de pesquisas Espaciais
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économique
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNRM	Política Nacional para os Recursos do Mar
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
TSM	Temperatura Superficial do Mar
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 GERAL	17
2.2 ESPECÍFICOS	16
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.1 LOCALIZAÇÃO	18
3.2 MÉIO FÍSICO	18
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
4.1 CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DO CLIMA	24
4.2 TIPOS DE CLIMA	35
4.3 ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITES	39
4.3.1 Comparações entre estimativas de precipitação estimadas por satélites e medições por estações pluviométricas	42
4.4 BACIA HIDROGRÁFICA E BACIAS COSTEIRAS	44
4.5 A INFLUÊNCIA DO CLIMA NA ÁREA QUE ABRANGE A BACIA HIDROGRÁFICA COM O CLIMA	47
4.6 ELEMENTOS DO CLIMA ATUANTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO OIAPOQUE	50
5 METODOLOGIA	59
5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO OIAPOQUE	59
5.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DAS INFORMAÇÕES DO SATÉLITE TRMM	59
5.3 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DINÂMICA FLUVIAL: RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO TRMM=PRECIPITAÇÃO OBSERVADA=VAZÃO= EVENTOS ZCIT, EL NIÑO e LA NIÑA	61
5.3.1 Estatística de correlação	62
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS	65
6.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E CORRELAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICAS, FLUVIOMÉTRICAS (1981 – 2019) DA BACIA DO RIO OIAPOQUE	65
6.1 PRECIPITAÇÃO ESPACIAL-TEMPORAL DO SATÉLITE TRMM (1998-2019) PARA A BACIA DO RIO OIAPOQUE	67
6.2 CONEXÕES E CORRELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO= EVENTOS EXTREMOS (ZCIT, EL NINÕ E LA NINÃ) =VAZÃO	72
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
8 REFERÊNCIAS	83

INTRODUÇÃO

A realização desta pesquisa é fruto da necessidade de uma análise da variabilidade climática na bacia do rio Oiapoque, por meio do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission e estações meteorológicas, e a sua relação com os processos fluviais.

Os estuários na região costeira norte brasileira, principalmente a norte do estado do Amapá fronteira com a Guiana Francesa, estão localizados em uma região sujeita a fenômenos atmosféricos de larga escala associados a presença da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, influência do El Niño e La Niña, a Corrente Costeira Norte Brasileira e o Sistema de Dispersão do rio Amazonas. Para isso os produtos gerados por meio de sensores remotos são de suma importância para o entendimento da variabilidade climática em escala global até a escala local. A utilização de sensores remotos na estimativa de precipitação vem mostrando ser uma alternativa importante para se contrapor as problemáticas da falta de dados climatológicos que auxiliem as instituições públicas, privadas e a população em geral.

Em 1997, a “National Aeronautics and Space Agency” (NASA) dos Estados Unidos da América em parceria com a “National Space Development Agency of Japan” (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA) lançaram um satélite desenvolvido para monitorar a precipitação em latitudes baixas, ou regiões tropicais. Este satélite, conhecido como “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM), possibilitou a oportunidade de monitorar a precipitação em regiões tropicais e onde os dados convencionais são escassos (KUMMEROW et al., 2000). Estas áreas não incluem apenas os oceanos da região tropical, mas também áreas continentais, como a floresta Amazônica.

Este trabalho objetiva fazer análise da variabilidade climática da bacia hidrográfica do rio Oiapoque com dados pluviométricos, fluviométricos e por satélite tropical *rainfall measuring mission*, no período entre 1981 a 2019. Assim, correlacionar a variabilidade climática com eventos climáticos da Zona de Convergência Intertropical e eventos ENOS. Para isso serão utilizados os dados de precipitação pluviométrica da estação meteorológica presente no município de Oiapoque e Guiana Francesa juntamente com os dados globais de estimativa de precipitação do satélite meteorológico TRMM (COLLISCHONN et al., 2007) e informações de dados fluviométricos. Os dados foram tratados de forma a compreender as distribuições temporal e espacial das chuvas considerando a sazonalidade e os efeitos de

eventos extremos que podem afetar a vazão e conseqüentemente a descarga estuarina podendo refletir nos padrões de erosão e deposição.

A pesquisa está estruturada em cinco Seções, a primeira caracteriza a área de estudo, localizando e especificando o tipo climático predominante, a vegetação existente, assim como os aspectos do relevo, geologia, hidrografia e por fim os aspectos socioeconômicos.

Na Seção II, procurou-se dissertar uma base teórica sobre os elementos climáticos, tipos de clima predominantes no Brasil culminando no clima regional e local, ainda fizemos um discursão sobre as estimativas de precipitação por satélites especificando as características do TRMM e as pesquisas de comparação entre os dados do satélite com as estações pluviométricas. As características e funcionamento de bacias hidrográficas e bacias costeiras foram argumentados nesta pesquisa e por fim, as conexões dos processos fluviais nas bacias hidrográficas com o clima.

Na Seção III, discorre sobre os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa e algumas aplicações dos dados do clima com o satélite. Em sequência, a Seção IV apresenta os resultados e discursões da variabilidade climática e correlação com os dados pluviométricos e fluviométricos (1981-2019) da bacia do rio Oiapoque, precipitação espacial do TRMM (1998-2019) para a BHRO e as conexões/correlação da precipitação/eventos extremos/vazão. Por fim, na Seção V as conclusões da pesquisa da variabilidade climática da bacia hidrográfica do rio Oiapoque por satélite TRMM, de 1998 a 2019, e uma série histórica de 1981 até 2019 das estações pluviométricas e fluviométricas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar a variabilidade climática da bacia hidrográfica do rio Oiapoque por meio dos produtos do satélite tropical *rainfall measuring mission*, dados pluviométricos e fluviométricos no período entre 1981 e 2019.

2.2 ESPECÍFICOS

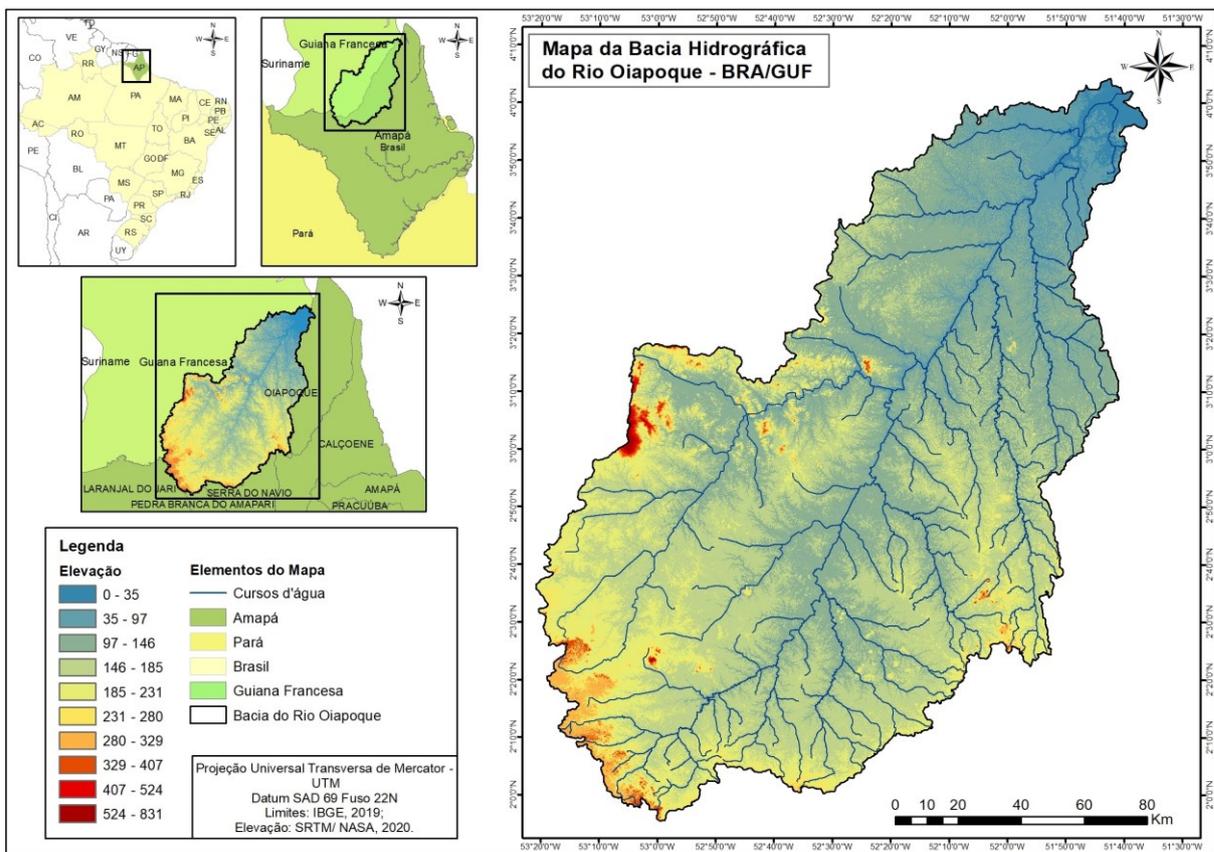
- Analisar a variabilidade climática da bacia hidrográfica do rio Oiapoque através da análise dos dados de estações pluviométricas, utilizando uma serie de 1981-2019.
- Analisar variabilidade dos dados fluviométricos (1981-2019).
- Realizar uma análise temporal e espacial dos dados de precipitação do satélite TRMM dos anos de 1998 até 2019.
- Analisar a influência da variabilidade climática na dinâmica fluvial, afim de estabelecer um estudo preliminar dessa relação precipitação-eventos extremos (ZCIT, El Niño e La Niña)=vazão.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

Para o estudo foi escolhida a bacia hidrográfica do rio Oiapoque localizada no extremo norte do estado Amapá, esta bacia recobre grande parte do município de Oiapoque, área de fronteira com a Guiana Francesa, departamento ultra marino da França, inserida na região hidrográfica amazônica, ela é delimitada pelas coordenadas geográficas 1° 50' N a 4° 10' N de latitude e 53°20' W a 51°30' W de longitude.

Figura 01: Localização da bacia hidrográfica do rio Oiapoque.



Fonte: Adaptado a partir de IBGE, 2020; SEMA/AP, 2018.

3.2 MÉIO FÍSICO

A região amazônica é caracterizada por um grande volume de chuva, o período de maior intensidade de chuvas na região associada ao estado do Amapá são os meses de março a maio, com volumes que chegam em média a 400 mm ao mês e, o período de menor intensidade pluviométrica compreende os meses de setembro a novembro, apresentando uma média de 50 mm. As temperaturas médias anuais de 26°C, variando para 24°C na parte oeste e até maiores ao longo do baixo Amazonas (INMET, 2013).

Segundo Ferreira (2008), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) tem influência determinante nos altos valores de precipitação na região de estudo, pelo seu deslocamento nos meses de março e abril de 1° grau de latitude Sul e movendo-se cerca de 8° grau de latitude norte entre agosto e setembro em que os valores de precipitação são menores.

O autor destaca que a oscilação de *Madden-Julian* é outro fator dinâmico de grande escala que tem influência nos padrões pluviométricos da região amazônica, atuando dentro da escala intrasazonal constituindo um fenômeno de baixa frequência com duração de cerca de 30 a 60 dias, que influencia diretamente na precipitação da região. Ainda ressalta que a oscilação de Madden-Julian intensifica as atividades da ZCIT.

A área de estudo situa-se na região equatorial e possui um clima quente úmido com a existência de duas estações bem distintas: uma seca (setembro a novembro) e uma chuvosa (fevereiro a maio) com altos índices de precipitação.

A abrangência da bacia hidrográfica do rio Oiapoque apresenta uma área com cobertura vegetal diversificada, tendo parte floresta de terra firme na porção interna do seu território (IBGE, 2012). No litoral na porção que compreende a costa oceânica da Guiana Francesa e brasileira caracterizam-se estreitas franjas de manguezais (SANTOS et al., 2016).

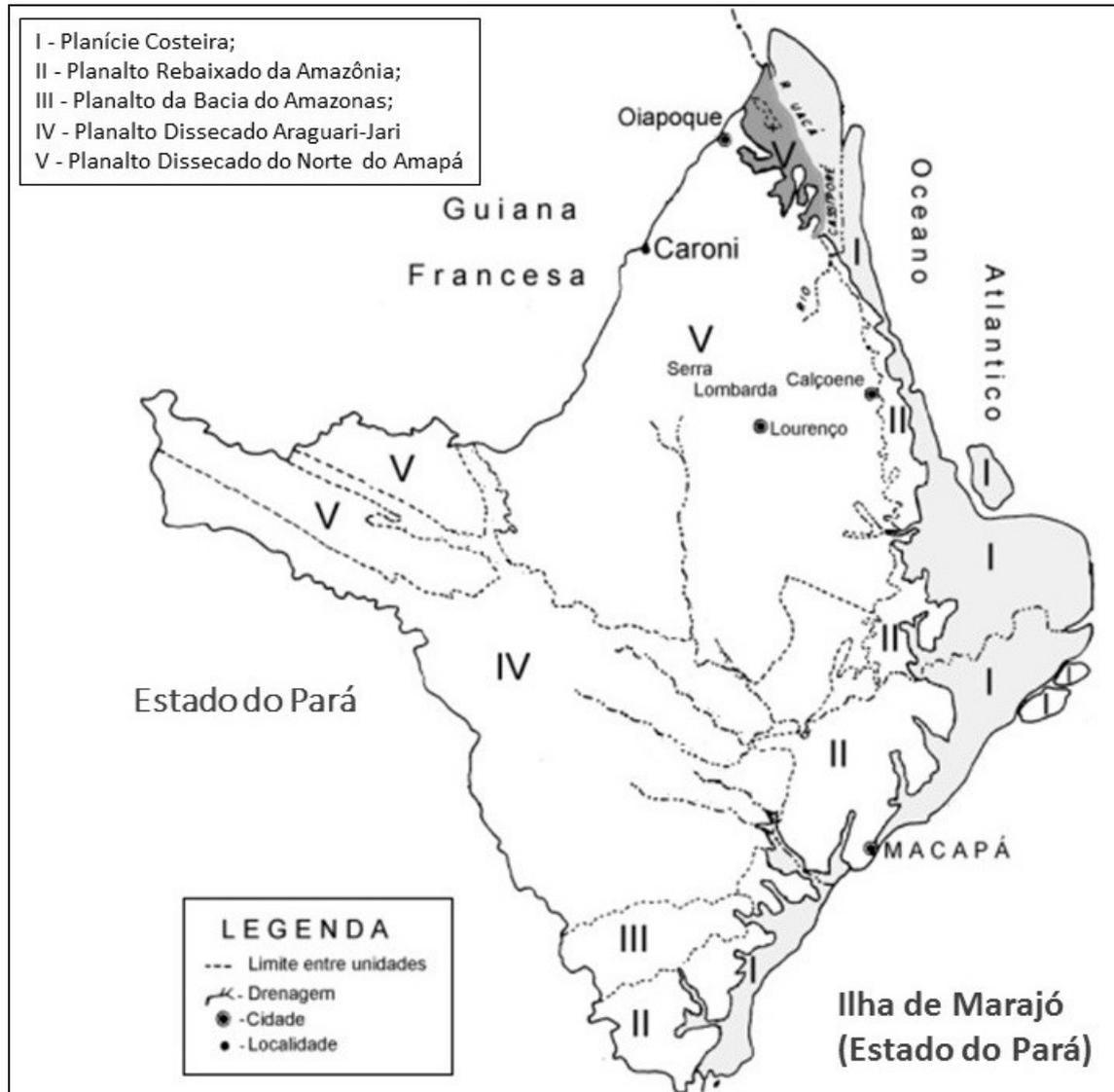
O relevo da bacia hidrográfica do Rio Oiapoque se estende por dois países, Brasil (estado do Amapá) e Guiana Francesa (Distrito de Cayenne). Segundo Boaventura e Narita (1974), o relevo do estado do Amapá está classificado em cinco unidades morfoestruturais (figura 02):

- I. Planície Costeira;
- II. Planalto Rebaixado da Amazônia;
- III. Planalto da Bacia do Amazonas;
- IV. Planalto Dissecado Araguari-Jari
- V. Planalto Dissecado do Norte do Amapá

A unidade morfoestrutural que abrange a área de estudo corresponde ao Planalto Dissecado do Norte do Amapá esculpido nas litologias do núcleo Arqueano Oiapoque (LIMA et al. 1991). O Arqueano teve sua formação geológica no período pré-cambriano, ou seja, é uma tipologia de relevo muito antigo com isso é lá que estão as maiores altitudes do estado. Devido a estas características, essa unidade morfoestrutural abriga grande parte das jazidas minerais do Estado do Amapá.

Na porção mais ao norte tem a formação de planície costeira, que corresponde à faixa de ocorrência de sedimentos quaternários, de ambiências fluvial, flúvio-lacustre e flúvio-marinha (SILVEIRA e SANTOS, 2006).

Figura 02: Unidades morfoestruturais do estado do Amapá.



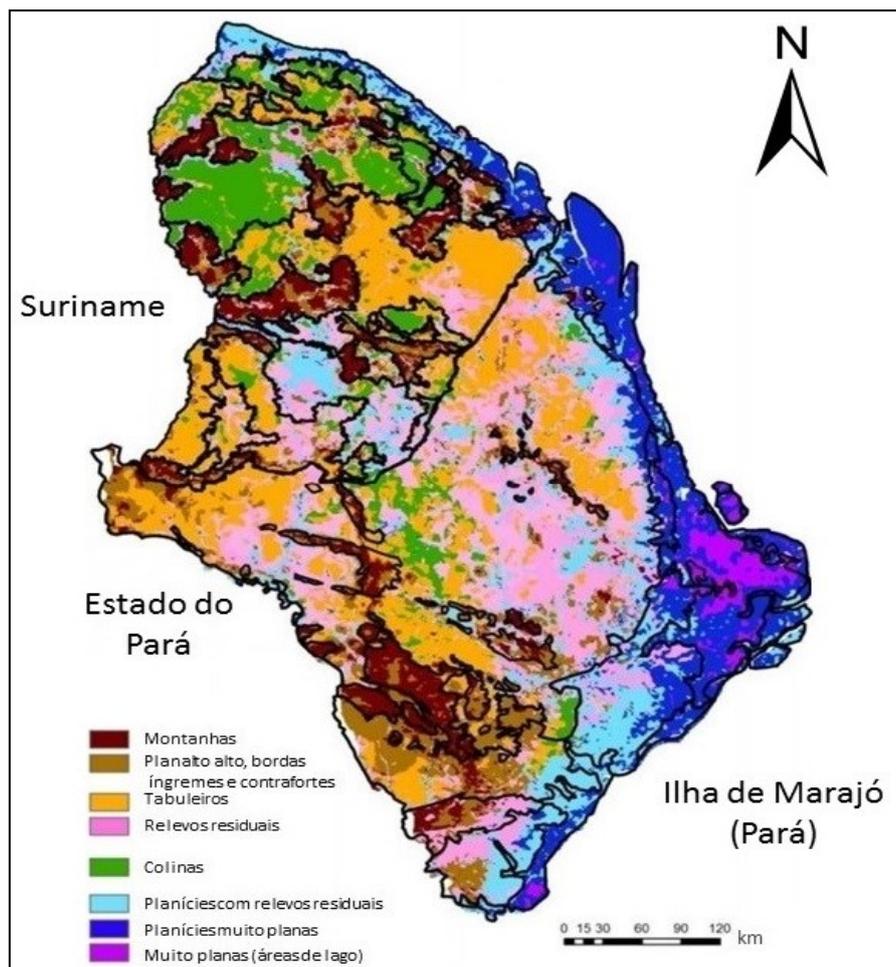
Fonte: Modificado de Boaventura e Narita 1974); Lima et al. (1991) apud Silveira (1998).

Na porção que abrange a Guiana Francesa a formação geológica pertence ao Escudo das Guianas, um vasto conjunto geológico limitado ao norte pelo Oceano Atlântico e ao sul pela Bacia Amazônica. As rochas pertencentes ao Escudo, mais de 90%, são datadas do Paleoproterozóico, formados há cerca de 2,2 bilhões de anos e estão ligados à inauguração de um oceano que separou os escudos arqueanos da Amazônia e da África Ocidental (ROIG e MOISAN, 2011).

O Escudo das Guianas, recobre uma área 1,5 milhão de quilômetros quadrados, aproximadamente, se estende para países como Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana e Brasil. Onde o vetor de formação do escudo está ligado aos eventos geodinâmicos relacionados ao Arqueano e Mesoproterozóico (THÉVENIAUT e DELOR, 2003).

Devido a estas características geológicas o relevo da Guiana Francesa é marcado por planaltos com elevações pequenas e médias, e montanhas isoladas com 800 metros de elevação como o Maciço Inini-Camopi e central (PAGET, 1999), vales comuns, planaltos e encostas (GUITET et al., 2013). Contudo dentro destes segmentos elaborado por Paget e Guitet et al., também se encontram tabuleiros, relevos residuais, planícies com relevos residuais descritos por Bugnicourt et al., (2018) em estudo usando análise textural para mapeamento de relevo e paisagem regional, Escudo das Guianas Orientais (figura 03).

Figura 03: Espacialização das unidades de relevo da Guiana Francesa e Amapá (Brasil)

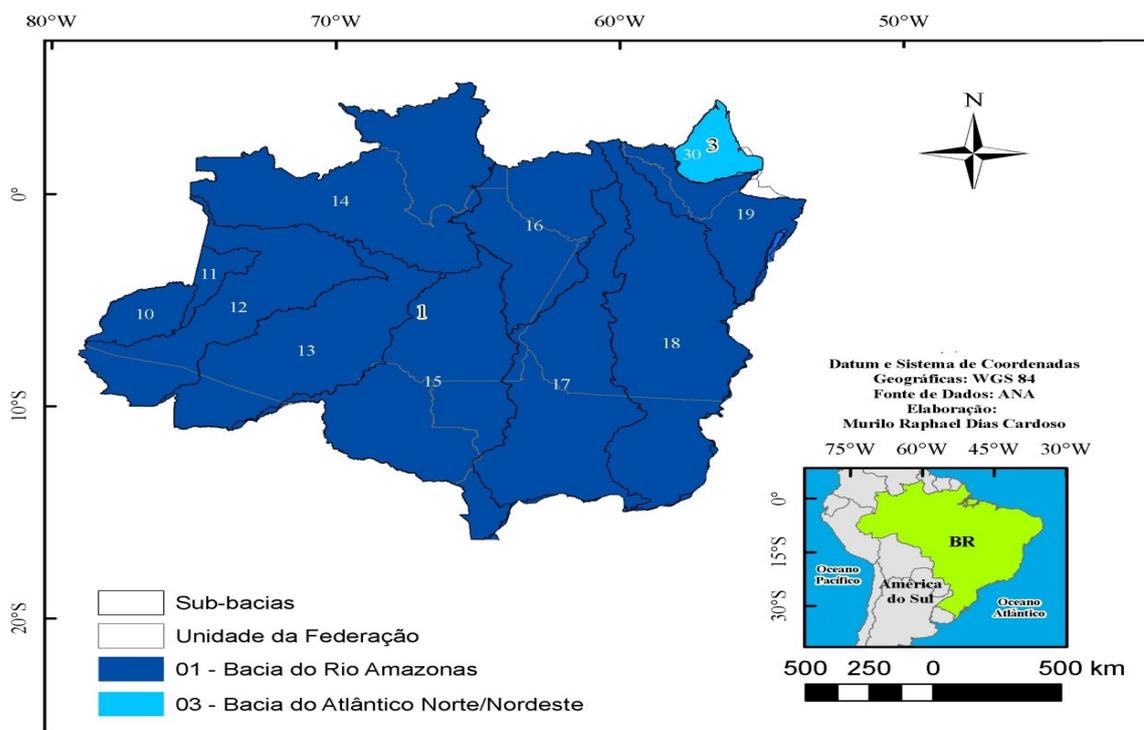


Fonte: Adaptado de BUGNICOURT et al., 2018. A partir dos estudos de Guitet et al. (2013) e IBGE (2004)

Estas formações geológicas e geomorfológicas implicam em um relevo dissecado pela rede hidrográfica, uma paisagem característica para a bacia hidrográfica do rio Oiapoque, tais como o afloramento rochoso ao longo do rio e algumas corredeiras ocasionas pela formação geológicas existente no seu alto curso, na direção das suas nascentes, e no baixo curso, direção da sua foz (IBGE, 1964; PALHARES e GUERRA, 2016).

A área de estudo consiste em uma área de fronteira entre dois países (Brasil e Guiana Francesa), na porção estrangeira a região possui uma variedade de bacias hidrográficas, bacia Maroni, Appouague, Oiapoque e bacias Costeiras (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, DEAL-Guyanne, 2012). No Amapá (Brasil) a BHRO pertence a bacia amazônica, uma das maiores da América Latina, e a mais extensa rede hidrográfica do planeta (ANA, 2011). A bacia Amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, pela bacia do Atlântico Norte/Nordeste (Figura 04), segundo a resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a bacia hidrográfica amazônica ocupa uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde suas nascentes nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico (ANA, 2011).

Figura 04: Mapa da Região hidrográfica Amazônica e Sub-bacias.



Fonte: ANA, 2011.

A região amazônica apresenta grande potencial hídrico, os seus rios principais são navegáveis e de importância econômica, estes ligam diversos centros urbanos na região. De acordo com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e, com base no Plano Nacional de Integração Hidroviária, a bacia amazônica movimentava um grande fluxo de produtos, os principais são: minério de ferro, produtos de exploração florestal, carga geral, minerais metálicos não-ferrosos, petróleo e gás natural (ANTAQ, 2013).

Integrando a bacia do Atlântico Norte, o rio Oiapoque apresenta um fluxo de mercadorias e trânsito constante de embarcações que fazem trajetos entre Brasil e a Guiana Francesa. A bacia desagua diretamente no oceano Atlântico. O rio Oiapoque tem suas nascentes na porção oeste do estado do Amapá, no interior do Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, tem direção sentido sul – norte, com uma área de 15.000 km² na porção brasileira (SEMA, 2004). Esta bacia hidrográfica tem como principais afluentes do lado brasileiro, o rio Curipi, Cricou, Anotaié, Marupi, Lauê, Mutura, e da porção da Guiana Francesa possui uma área de 17.000 km², os principais rios são Camopi e Yaloupi.

Isto demonstra o quanto importante papel o rio Oiapoque tem na dinâmica econômica da região, tanto no sentido no transporte de mercadorias quanto do transporte de pessoas. Dado a isto, é de grande importância o conhecimento dos rios que fazem parte da sua dinâmica fluvial.

Os aspectos socioeconômicos compreendem em sua grande parte o município de Oiapoque na porção brasileira e na porção francesa a maior concentração populacional está nas cidades de Saint George e Camopi.

Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Oiapoque tem uma população estimada para 2020 em 27.906 habitantes (IBGE, 2010), apresentou um PIB per capita de 15.462 reais em 2017, data da última pesquisa feita. Na Guiana Francesa, a cidade de Saint George possui uma população de 4.020 habitantes e Camopi com 1.769 habitantes (Tabela 01).

Tabela 01 – Características populacionais dos municípios que compõe a bacia do rio Oiapoque.

Município	Área (km ²)	População				Densidade (hab/km ²)
		1991	2000	2010	2021 (Estimada)	
Oiapoque	23.034	7.555	12.886	27.270	28.534	0,91(2010)
Saint George	2.320	1.523	2.153	4.020		1,08 (2010)
Camopi	10.030			1.769		0,17(2010)

Fonte: IBGE, 2010, 2020; INSEE, 2010

As economias dos municípios em questão giram em torno dos bens de serviços, agropecuária e da indústria para o Oiapoque. A Guiana Francesa apresenta baixa representatividade econômica para a França. Tem na distribuição do valor agregado, a predominância do setor secundário, estendido às atividades extrativistas (TOSTES & FERREIRA, 2010) também as atividades de garimpo fomentam a economia do município mobilizando pessoas e estimulando a circulação monetária (ALMEIDA e RAUBER, 2017). Já o setor industrial representa 11,4% do seu PIB (BEAUDOUIN, RIEBLANC e BOYER, 2011).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DO CLIMA

O estudo do clima é um componente vital para o desenvolvimento econômico e ambiental de qualquer país, que tenha por objetivo elevar o conhecimento das principais características dos elementos climáticos. As áreas dos trópicos é uma área do planeta terra onde a dinâmica climática se desenvolve de forma a influenciar diversas partes do planeta. Os processos do tempo e clima ligados a zona tropical não podem ser ignorados quando relacionados com outras áreas do conhecimento tais como a hidrografia dentre outras ciências.

A variação dos elementos do clima é a resultante de uma atmosfera não estática em constante agitação podendo mudar de local para local no decorrer do tempo em diferentes escalas que variam desde microssegundos até centenas de anos (AYOADE, 1996). A variação do clima é usada para descrever mudanças que se referem algumas escalas de tempo e pode ser validado quando usados dentro de uma determinada escala temporal.

Contudo, a variação do clima não pode ser confundida com mudança climática global. As variações no clima implicam em oscilações na circulação geral da atmosfera, na radiação solar, na composição atmosférica e nas formas oceânicas em um longo período de tempo.

Com isso, as variações nas características do clima referem-se a mudanças muito rápidas, tal variabilidade inclui flutuações no clima dentro de um período menor do que 30 anos (IPCC, 2021).

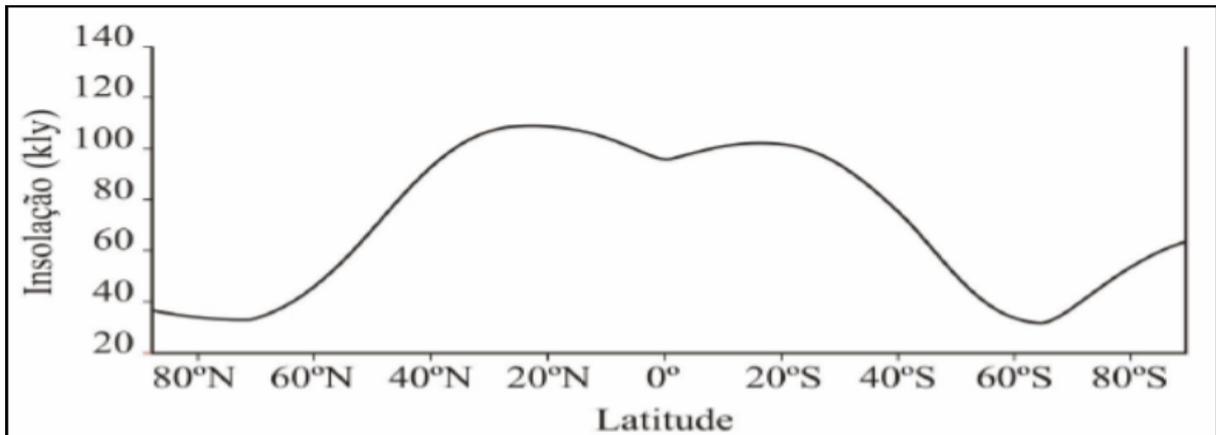
O clima sustenta as características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período. Com isso o clima tem sua peculiaridade a partir de um maior número de dados do que as condições médias do tempo atmosférico numa determinada área (AYOADE, 1996). Sampaio e Silva Dias (2014) entendem que o clima é um estado médio da atmosfera em um ponto do planeta terra e o tempo são situações das condições meteorológicas instantâneas vigentes num determinado lugar. Para Cavalcanti et al., (2009), o conjunto dos fatores como, as massas de ar, estações do ano, temperaturas, distância dos oceanos em relação ao continente, a altitude, latitude pôr fim a precipitação, esses fatores definem o clima.

Existe uma variedade de tipos de climas sobre o Planeta Terra. Cada uma tem sua particularidade que muitas vezes não se encontram em outras áreas vizinhas (TORRES e MACHADO, 2008). As chuvas, ventos e as temperaturas são condicionantes importantes para se definir a característica de cada tipo de clima.

O aquecimento do Planeta Terra se dá de forma desigual e irregular, devido ao seu ângulo de inclinação e seu formato parcialmente esférico, os polos recebem menos aquecimento solar que os trópicos e a região do equador (BARRY e CHORLEY, 2013). Nos argumentos de Ayoade (1996), a temperatura pode ser definida em termos do movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevado será a temperatura.

As variações espaciais da temperatura do ar se alteram de acordo com o lugar e com o decorrer do tempo em uma determinada localidade, onde vários fatores geográficos influenciam na sua variação sobre a superfície da terra, incluindo o relevo, ventos predominantes, correntes oceânicas e distância dos corpos hídricos.

Para Ayoade (1996), a latitude exerce o principal controle sobre a quantidade e volume de radiação solar que um determinado lugar recebe. A distribuição latitudinal da insolação (Figura 05) indica que as maiores quantidades de insolação são recebidas nas zonas subtropicais devido à baixa quantidade de nebulosidade em relação as demais zonas.

Figura 05 - Distribuição latitudinal da insolação anual

Fonte: adaptado de Ayoade (2003).

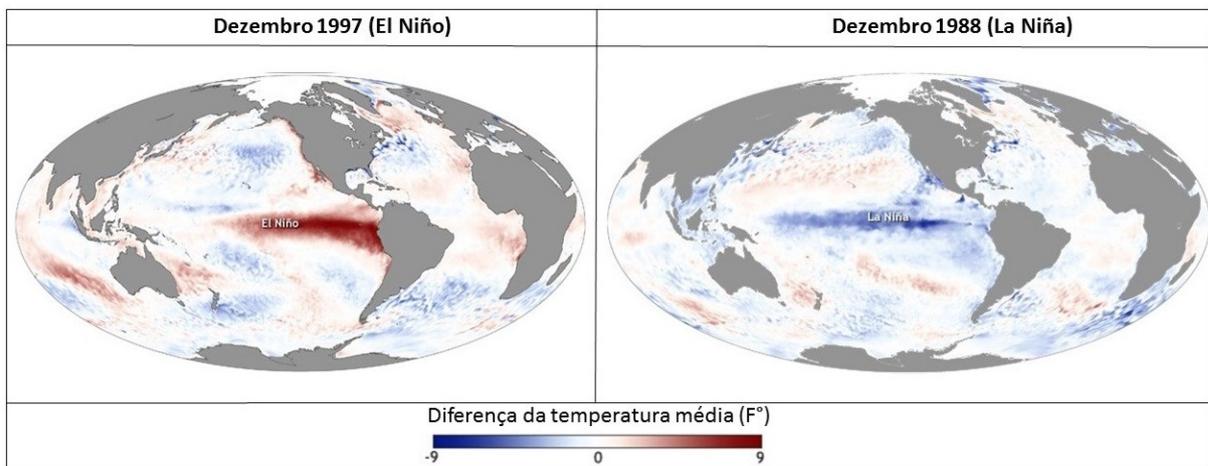
A maneira que o Sol aquece as regiões do planeta, esta energia por meio dos movimentos horizontais (CAVALCANTI et al., 2009), se redistribui pela atmosfera gerando uma circulação atmosférica. Nos trópicos estes movimentos induzem a formação de nuvens principalmente nas regiões equatoriais. O mesmo autor salienta que o processo de levantamento do ar ocasiona a formação de nuvens condensando o vapor d'água formando as gotas de água.

Na zona equatorial a nebulosidade é mais acentuada devido a alta concentração de umidade na atmosfera, influenciada pelas características da circulação geral da atmosfera tais como a ZCIT, célula de Hadley, oceanos e continentes. Os valores de insolação tendem a diminuir em direção aos polos, atingindo quantidades de insolação em torno dos 70° e 80° no hemisfério norte e de 60° no hemisfério sul. Para Torres (2008), esta diferença entre os dois hemisférios, é decorrente da maior proporção de oceanos em relação aos continentes do hemisfério sul, dado a isso, existe uma maior quantidade de água evaporando ocasionando uma maior nebulosidade. Então pode se concluir, que a temperatura aumenta em função da diminuição da latitude a medida que nos aproximamos da linha do equador.

A distribuição da temperatura global não é homogênea para diversas regiões, os raios solares aquecem os continentes e oceanos. Nos oceanos existe um padrão climático influenciado pelo volume de radiação solar. Os fenômenos El Niño e La Niña são eventos que aquecem e resfriam parte do oceano Pacífico na faixa intertropical próximo a linha do Equador (NOAA/CLIMATE, 2014) desencadeando efeitos globais no aumento e diminuição dos volumes de precipitação sob sua área de influência.

Os eventos “ENOS” são elementos que, também, definem as características da atmosfera no Brasil e na Amazônia, estes eventos são fases opostas de um padrão climático natural no oceano pacífico tropical que oscila a cada 3-7 anos, em média. Com uma duração de 9 a 12 meses. Como parte integrante de um conjunto, eles são chamados ENOS, que é a abreviação de *Southern Oscillation*. Este padrão climático ocorre no oceano pacífico tropical (Figura 06) que elevam e diminuem a temperatura média do oceano, pressão superficial e precipitação em partes do pacífico tropical.

Figura 06: Anomalia da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico.



Fonte: Adaptado da NOAA, 2009.

Na figura 06 observa-se os efeitos do El Niño no oceano (situação na figura esquerda), a condição de baixa temperatura do oceano são características do La Niña (situação a direita). Em condições climáticas normais do Oceano Pacífico, os cientistas descrevem as condições como “ENOS-neutras”. Neutro significa que as temperaturas, ventos, convecção (ar ascendente) e precipitação em todo o Pacífico tropical estão próximos de suas médias de longo prazo.

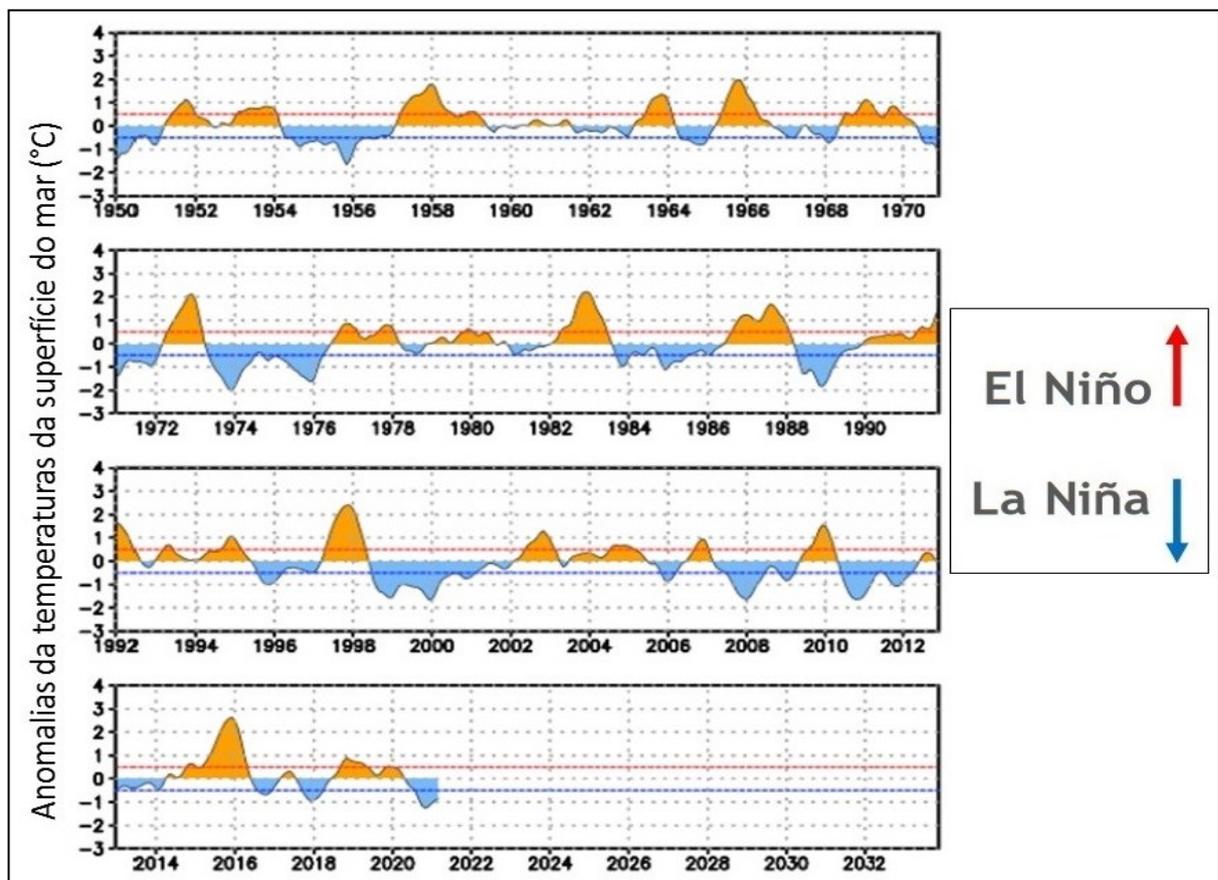
As condições do El Niño ocorrem quando águas anormalmente quentes se acumulam nas latitudes tropicais do Oceano Pacífico central e oriental. As condições La Niña ocorrem quando as águas mais frias do que a média se acumulam no Pacífico tropical central e oriental e as chuvas tropicais se deslocam para o oeste. Nos Estados Unidos da América e na América Central, os impactos sazonais da precipitação são geralmente opostos aos do El Niño. Em comparação com as condições do El Niño, as condições do La Niña são geralmente mais favoráveis para a formação de furacões no Atlântico.

Entretanto os eventos El Niño e La Niña ocorrem em diferentes escalas de tempo que variam de interanuais, multianuais e até decenais. O evento do El Niño/Oscilação Sul (ENOS)

das últimas décadas de 1982-1983; 1987-1988 e 1991-1992 as oscilações do La Niña tiveram suas máximas de temperaturas frias entre as décadas de 1942-1943 e 1949-1950 ambos fenômenos foram intensos e afetou o tempo e clima da América do Sul de várias maneiras (CPTEC/INPE, 2016; KAYANO e MOURA, 1986).

A NOAA (2014) considera que as condições do El Niño estão presentes quando o Índice de Niño Oceânico é $+0,5^{\circ}\text{C}$ ou mais, indicando que o Pacífico tropical centro-leste está significativamente mais quente do que o normal. As condições La Niña existem quando o Índice de Niño Oceânico é $-0,5^{\circ}\text{C}$ ou inferior, indicando que a região está mais fria do que o normal. Nos últimos anos entre 2015-2017 os efeitos do El Niño foram acentuados (Figura 07). Acarretando mudanças no volume de precipitação nas suas áreas de atuação. Em contrapartida o evento do La Niña propiciou temperaturas frias nas regiões onde atua.

Figura 07: Evolução temporal do Índice do El Niño e La Niña Oceânico de 1950 até 2020.



Fonte: NOAA, 2021.

Philander (2018) estudando as regiões do Peru e no Equador, observou uma grande influência dos eventos El Niño e La Niña forte influência sobre o tempo como inundações em países como Equador e Peru a partir do aquecimento das águas superficiais do Pacífico Tropical Oriental. Analisando a bacia hidrográfica do rio Amazonas, Moura et al. (2019),

estudou os efeitos da precipitação, temperatura e evapotranspiração comparando-os com a ocorrência do El Niño e La Niña a partir de sensores remotos (TRMM e Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS), concluíram que dentre os elementos estudados a evapotranspiração foi mais afetada em meses mais chuvosos, o La Niña aumentou os volumes de precipitação. De Sousa e Cunha (2010) em estudo da precipitação na Amazônia durante os eventos Enos, concluíram que a distribuição espacial varia de acordo com a escala temporal da anomalia do fenômeno.

Estes fenômenos também têm influência nas cotas e vazão dos rios, a contribuição do El Niño e La Niña no regime fluviométrico apresenta padrões positivos e negativos de acordo com a ocorrência dos fenômenos, estas conclusões foram feitas por Franco et al. (2015) na sub-bacia do Rio Xingu em Altamira – PA. Portanto, a temperatura é um elemento do tempo atmosférico que exerce influência nas taxas de precipitação, ocasiona nebulosidade aliada ao movimento atmosférico fazendo surgir a ZCIT e os fenômenos El Niño e La Niña dentre outros condicionantes produtores de clima.

Nos argumentos de Ayoade (1996) o vapor d'água é um componente atmosférico mais importante na determinação do tempo e clima. Este componente tem sua intensidade e quantidade variável de acordo com a sua localização no globo terrestre. Este é a origem de todas as formas de precipitação, onde a quantidade de vapor d'água num certo volume de ar é uma indicação da capacidade da atmosfera em produzir precipitação.

A capacidade de formação das nuvens depende, também, da quantidade e características do vapor d'água. Isto é, quanto maior a concentração de água no sistema atmosférico maior a quantidade de nuvens. Utilizando os estudos de Barry e Chorley (1976), podemos observar que a variação na altitude da base das nuvens aumenta quando nos aproximamos de latitudes baixas (Tabela 02). Contudo, a quantidade de nuvens em uma dada área não expressa a incidência de chuvas sobre o local.

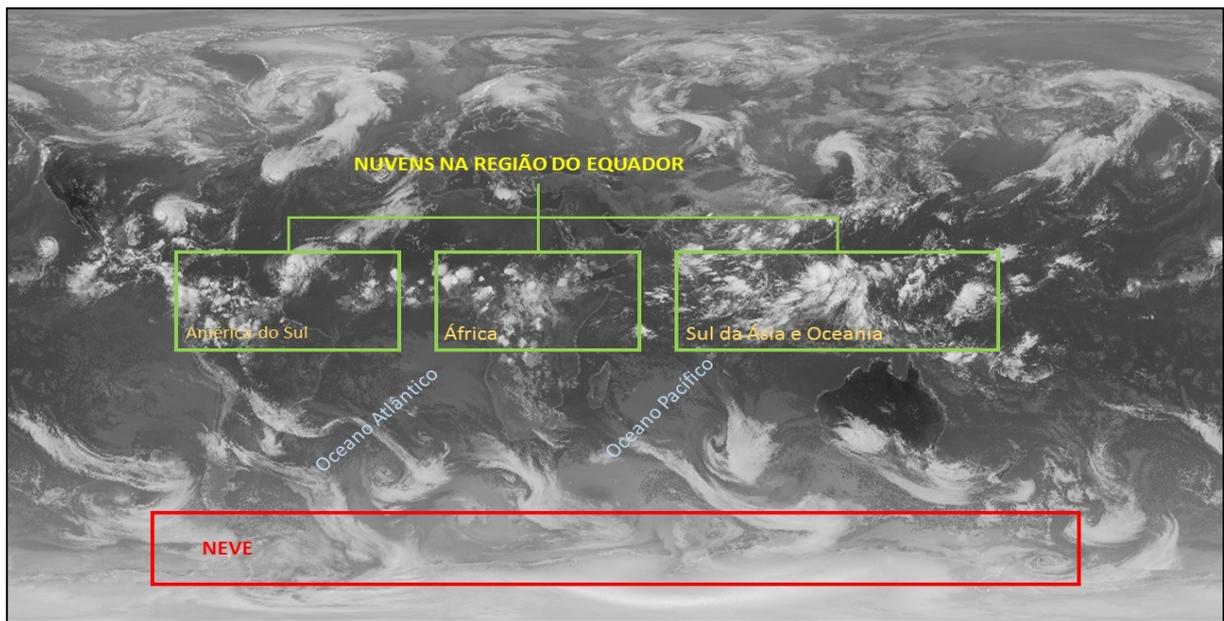
Tabela 02 – Variação na altitude da base das nuvens, nas diversas zonas latitudinais, em metros.

Nuvens	Trópicos	Latitudes médias	Latitudes altas
NUVENS ALTAS	Acima de 6.000 m	Acima de 5.000 m	Acima de 3.000 m
NUVENS MÉDIAS	2.000 – 7.500 m	2.000 – 7.000 m	2.000 – 4.000 m
NUVENS BAIXAS	Abaixo de 2.000 m	Abaixo de 2.000 m	Abaixo de 2.000 m

Fonte: adaptado de Barry e Chorley, 1976.

O conjunto de dados apresentados na figura 08, são fornecidos por satélites meteorológicos são imagens de nuvens no comprimento de onda infravermelhas, esta composição é uma imagem diária para o mês de setembro de 2019 fornecidas por cinco satélites geostacionários (NOAA GOES East and West, EUMETSAT Meteosat 7 e 10, e JMA MTSAT), disponibilizadas pelo Centro de Engenharia de Ciência Espacial da Universidade de Wisconsin (NOAA, 2019). A imagem expressa a temperatura das nuvens.

Figura 08: Nuvens na banda espectral infravermelho termal do conjunto de satélites NOAA.



Fonte: NOAA/SSEC, 2019. Data: 14 de setembro de 2019

Na figura 08, as nuvens mais brancas são mais altas da atmosfera e fornecem uma assinatura térmica muito mais fria já as que recobrem os oceanos e a superfície aparecem mais escuras por serem mais quentes (NOAA/SSEC, 2019). Na imagem pode-se observar as áreas localizadas nos polos recobertas por áreas brancas, pelo motivo da atmosfera apresentar neve em sua composição. Os movimentos atmosféricos aliados as massas de ar e o acúmulo de vapor d'água influenciam na precipitação.

A definição de precipitação é abordada por diversos estudos do clima. Para Ayoade (1996), é qualquer deposição em forma líquida ou sólida e derivada da atmosfera. Soares e Batista (2004) salientam que a precipitação é o resultado de um estado avançado de condensação sob forma de gotas e podem ser classificadas em (AYOADE, 1996):

Ciclônicas (ou frontais), caracterizadas pela grande abrangência em área, longa duração e baixa a média intensidade, relacionando-se à entrada de frentes frias ou quentes;

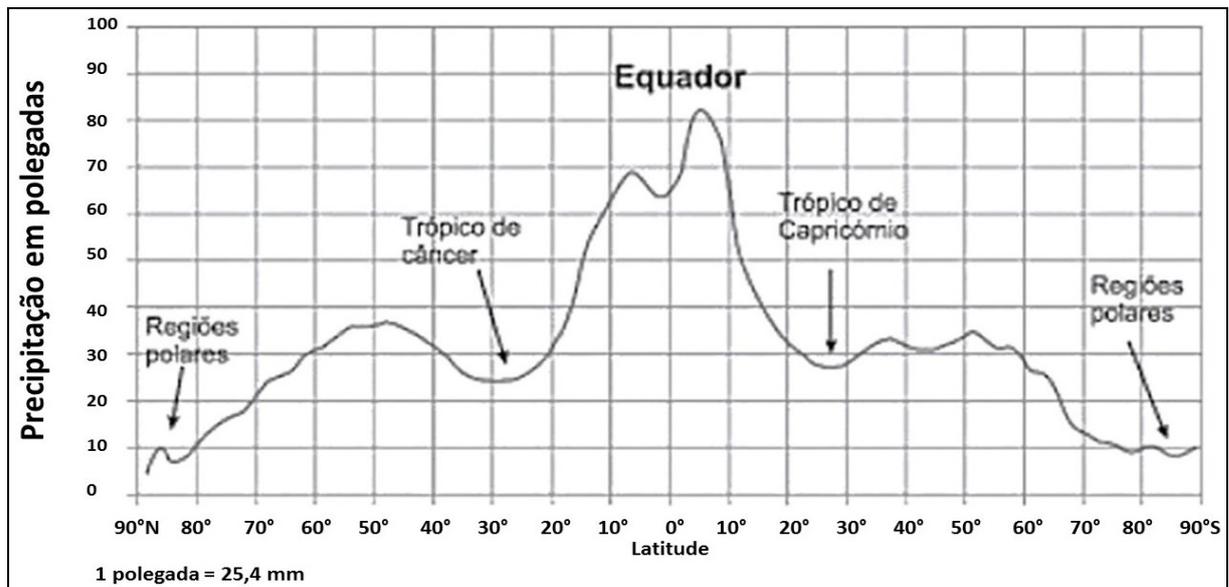
Convectivas, as quais abrangem uma área relativamente pequena, e são típicas do período de verão;

Orográficas, condicionadas pela presença de uma barreira montanhosa, sendo chuvas de pequena intensidade, grande duração e abrangem uma pequena área.

Os aspectos da precipitação têm influência do ciclo hidrológico que de forma tem sua origem nos processos de evaporação das águas, formação de nuvens, transporte das mesmas pelos ventos, e posteriormente a precipitação de forma sólida ou líquida.

Os padrões de distribuição da precipitação no globo terrestre ocorrem onde as massas de ar são mais acentuadas. As principais áreas de chuvas são zonas equatoriais (Figura 09) devido a convergência de ventos de superfície que originam a ascensão em grande escala do ar instável e úmido aliados as altas temperaturas no Equador, assim as precipitações nas áreas continentais são menores do que em relação as zonas oceânicas.

Figura 09: Padrão de distribuição latitudinal de precipitação.

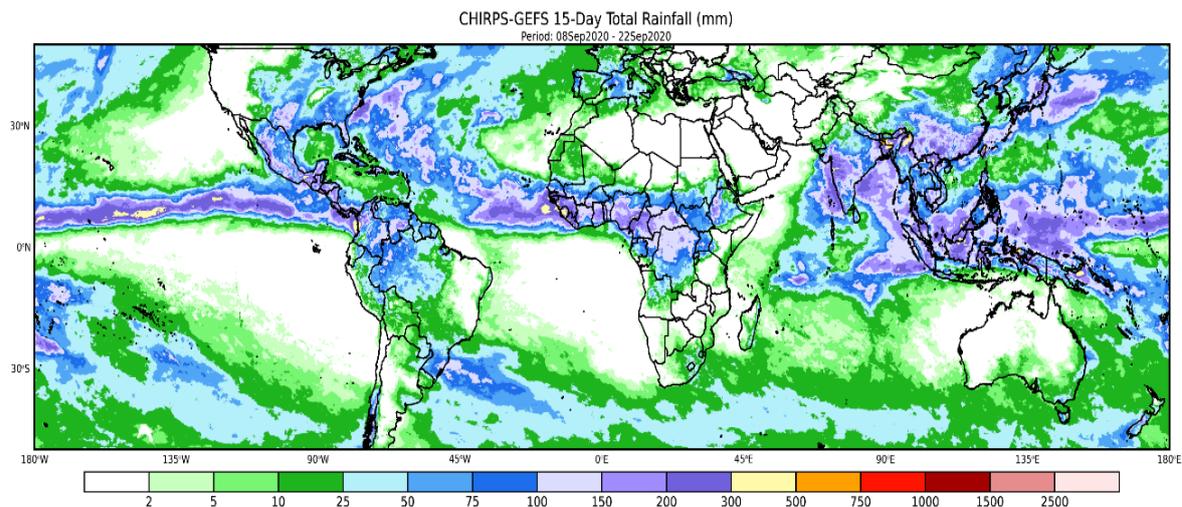


Fonte: Disponível em: http://migre.me/ipbbi_ Acesso em: 08 de setembro de 2020.

A figura 09, mostra que a zona intertropical tem maiores totais de precipitação, ou seja, o padrão de distribuição das chuvas é mais zonal nas latitudes baixas. Vale destacar que os fatores que os elementos que justificam essa quantidade de chuva são a atuação das massas de ar, mecanismos tropicais de circulação atmosfera/oceano (El Niño), o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical e a maior frequência térmica na atmosfera.

Comparando o mapa de precipitação média anual da NOAA (2020) observa-se que esta apresenta uma característica muito similar de distribuição de precipitação para o ano de 2020 (Figura 10) quando comparados com padrão de distribuição proposto por Ayoade (1996). Onde as maiores precipitações ocorrem próximo a linha do Equador. Respeitando a singularidade e os níveis de intensidade de acordo com a estação do ano (inverno ou verão) e também a influência dos fenômenos La Niña e El Niño.

Figura 10: Precipitação média anual estimada para setembro de 2020.



Fonte: Schneider et al, 2011. Dados de precipitação GPCC (Global Precipitation Climatology Center) fornecidos pelo NOAA / OAR / ESRL PSL, Boulder, Colorado, EUA, de seu site em <https://psl.noaa.gov/>.

De acordo com Santos (2006) com a interação resultante dos fatores climáticos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e ocorrência do fenômeno El-Niño-Southern Oscillation (ENSO), como foi explanado anteriormente, a região equatorial apresenta períodos chuvosos e menos chuvosos que ocorrem ao longo do ano, apresentando variações anuais, interanuais e decenais, de acordo com os fenômenos associados.

Com isso, o estudo dos padrões sazonais das chuvas e as estimativas de precipitação são indispensáveis para uma série de aplicações, entre as quais o apoio ao entendimento dos mais variados regimes de chuva, a compreensão do ciclo hidrológico e aos estudos climatológicos e meteorológicos. Além disso, estimativas de precipitação são fundamentais para o planejamento estratégico não só dos recursos hídricos, mas também de todas as atividades que fazem uso desses recursos (ANGELIS, 2006).

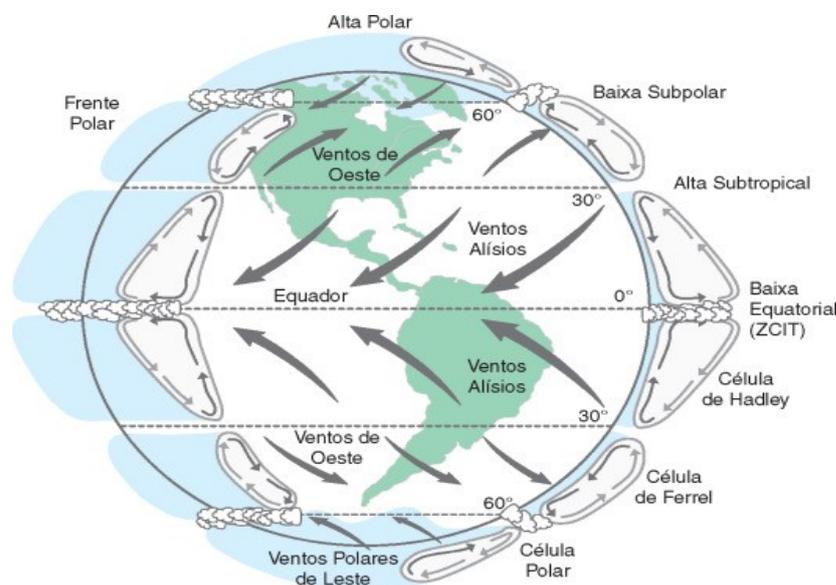
A pressão atmosférica é um fator muito importante para o clima, suas variações resultam na mudança do tempo (TORRES e MACHADO, 2008). Existem partes do globo que se diferenciam por baixa e alta pressão, essas se diferem pela temperatura e se altera por

fatores geográficos como latitude e altitude (AYOADE, 1996). A causa do movimento atmosférico é o balanço entre as baixas e altas latitudes com a superfície da terra e a atmosfera, topografia, superfícies continentais e oceânicas, por fim as correntes marítimas.

O movimento do ar se dá pelo desenvolvimento de uma relação entre pressão horizontal para áreas de baixa pressão. As zonas polares de modo geral produzem alta pressão, já as zonas de baixa pressão se desenvolvem no entorno da linha do equador devido essencialmente de origem térmica. Devido a estas características da movimentação do planeta, seu giro no próprio eixo, diferenciação térmica nas diferentes partes do globo e diferentes padrões de pressão, existem seis sistemas de ventos (Figura 11), a saber:

- No Hemisfério Norte: ventos alísios de nordeste, ventos dominantes de oeste e os ventos polares de leste.
- No Hemisfério Sul: ventos alísios de sudeste, os ventos predominantes de oeste e ventos polares de leste.

Figura 11: Zonas de pressão e ventos no globo terrestre.



Fonte: DEREZYNSKI et al., 2015.

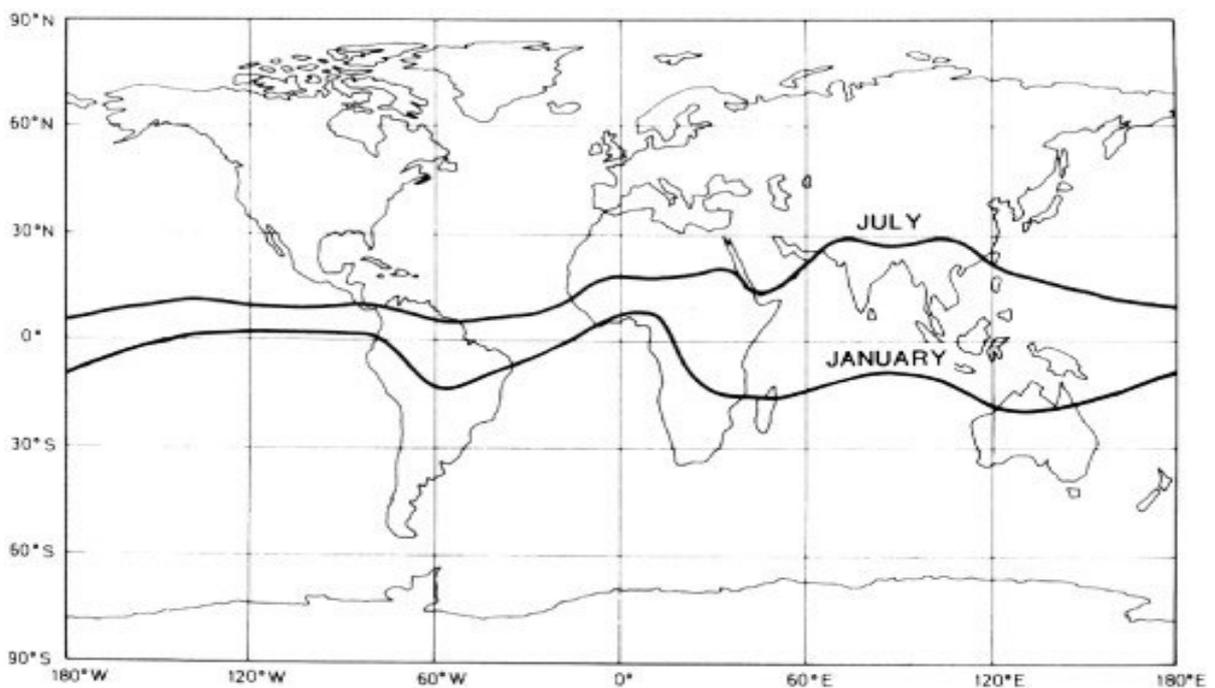
Na figura 11 pode-se observar a convergência na região equatorial que oferece levantamento de ar, que se resfria, perdendo umidade, e então volta em altitude (sentido, contrário, contra-alísios), esta célula de circulação então é denominada Hadley-Walker. Derezynski (2015), argumenta que uma circulação é dita de Hadley quando ocorre no sentido norte-sul e de Walker quando se dá no sentido Leste-Oeste. Ele acrescenta ainda que não há como separar estas duas células, pois ocorrem geralmente simultaneamente.

A intensa movimentação atmosférica imposta sobre os oceanos equatoriais resultam em uma região com altos índices pluviométricos e movimento ascendente, conhecida como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), por ser uma faixa para o qual os ventos alísios dos dois hemisférios convergem.

A Zona de Convergência Intertropical se configura como um sistema de circulação atmosférica produtora de tempo atmosférico, ela causa variações no clima tais como altas taxas de precipitação. Estas chuvas são resultado das perturbações vindas do oceano Atlântico Tropical, que alteram as condições do tempo na região Norte e Nordeste principalmente (CAVALCANTE, 2009), estas perturbações são áreas de chuvas formadas a partir do encontro dos ventos alísios que sopram na faixa equatorial do globo (WANG, 1994).

A ZCIT tem característica bastante permanente nos trópicos, sua posição é assinalada por uma ou mais faixas de nuvens, embora por outras ocasiões a nebulosidade possa estar ausente quando visto por imagens de satélites (AYOADE, 1996) ela varia de local para local, dependendo dos fatores tais como a topografia e a distribuição continental e marítima. Ela se movimenta para o norte durante o verão, nos meses de junho a setembro, e se move para o Sul do equador, nos meses de dezembro a fevereiro (Figura 12).

Figura 12: Posicionamento da Zona de Convergência Intertropical.



Fonte: YAN, 2005.

Esse deslocamento da ZCIT afeta as condições do tempo, ocorrendo formação de chuvas, verificadas nos estudos de Carvalho e Oyama (2013), neste trabalho os autores investigaram o comportamento da ZCIT sobre o Oceano Atlântico durante 10 anos com dados de precipitação, desta forma concluíram que a variabilidade da posição da ZCIT altera os volumes de chuva de acordo com a sua posição, principalmente no norte da América do Sul, onde os máximos de precipitação ocorrem no inverno e os mínimos no verão (REBOITA et al., 2010). Mesmo resultado encontrado por Citeau et al. (1988) na região da África Ocidental ao longo do período utilizando dados do satélite NOAA. Na região norte do Brasil um dos sistemas mais importante produtor de tempo é a ZCIT, as chuvas estão associadas a flutuação sazonal deste sistema (MARENGO e HASTENRATH, 1993). As chuvas são intensas no norte da Amazônia no verão austral.

4.2 TIPOS DE CLIMA

Um dos sistemas de classificação climática mais utilizado é o de Wilhelm Köppen desenvolvido entre 1900 e 1936, sendo sucessivamente aperfeiçoado pelo autor. A classificação de Köpper engloba cinco tipos climáticos reconhecidos principalmente com base nas características da temperatura (AYOADE, 1996), estes cinco subdivididos com base na distribuição sazonal da precipitação relacionados as características adicionais da temperatura (Quadro 01).

Quadro 01 - O modelo de classificação de Köppen.

TIPOS CLIMÁTICOS PRINCIPAIS	SUBGRUPOS CLIMÁTICOS
A – Climas tropicais chuvosos	Af – Clima tropical chuvoso de floresta
	Aw – clima de savana
	Am – clima tropical de monção
B – Climas secos	BSh – Clima quente de estepe
	BSk – Clima frio de estepe
	BWh – Clima quente de deserto
	BWk – Clima frio de deserto
C- Climas temperados chuvosos e quentes	Cfa – Úmido em todas as estações, verão quente
	Cfb - Úmido em todas as estações, verão moderado quente
	Cfc - Úmido em todas as estações, verão moderado frio e curto
	Cwa – Chuva de verão, verão quente
	Cwb – Chuva de verão, verão moderado quente
	Csa – Chuva de inverno, verão quente

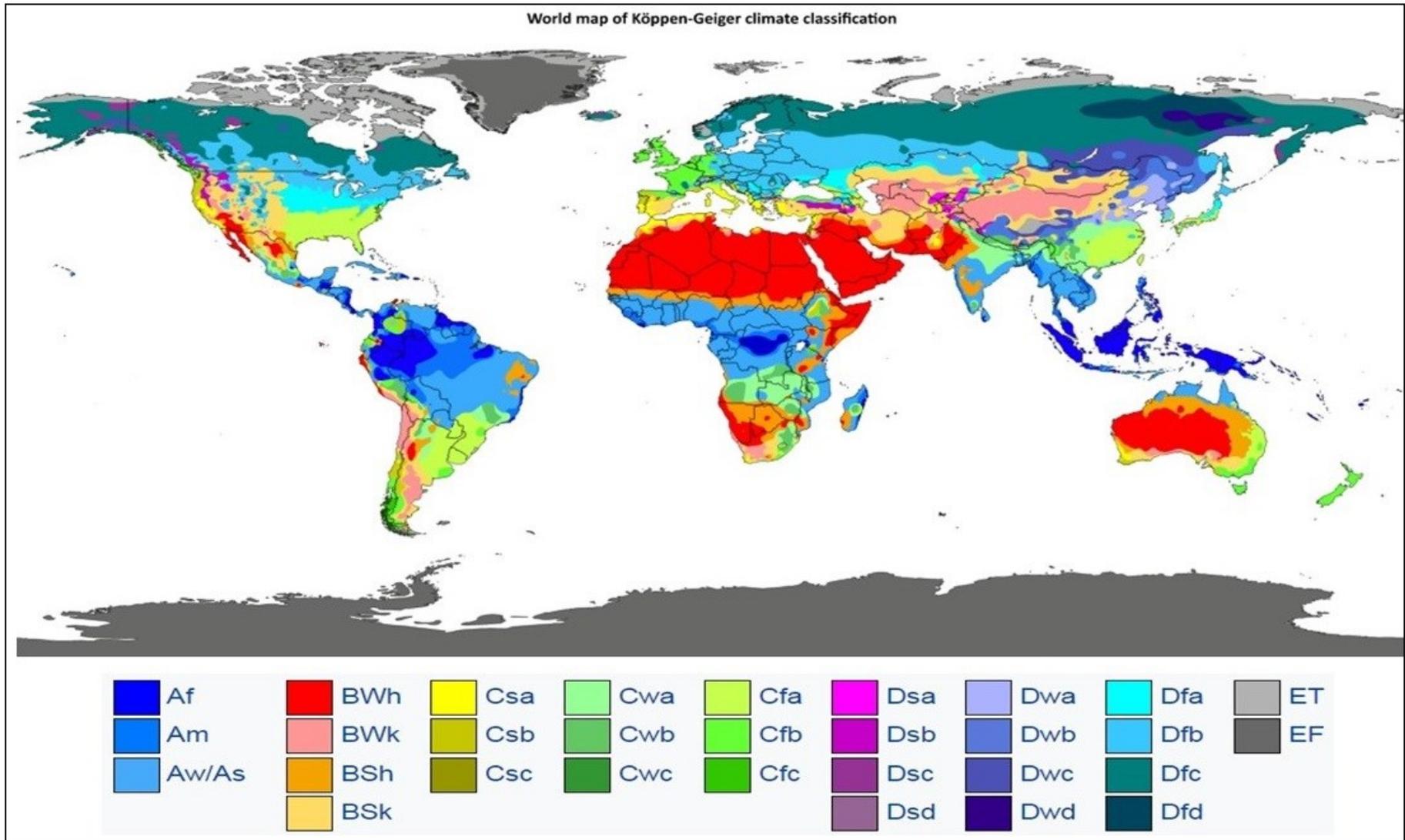
	Csb – Chuva de inverno, verão moderado quente
D – Clima frio com neve-floresta	Dfa – Úmido em todas as estações, verão quente
	Dfb - Úmido em todas as estações, verão frio
	Dfc - Úmido em todas as estações, verão moderado frio curto
	Dfd - Úmido em todas as estações, inverno intenso
	Dwa – Chuva de verão, verão quente
	Dwb - Chuva de verão, verão moderado quente
	Dwc - Chuva de verão, verão moderado frio
	Dwd - Chuva de verão, inverno intenso
E – Climas polares	ET – Tundra
	EF – Neve e gelo perpétuos

. Fonte: Adaptado de AYOADE, 1996.

Os grupos e subgrupos climáticos propostos por Köppen, foram especializados por Peel et al., (2007) em trabalho relacionado ao estudo da classificação do clima e as modificações feitas pelos colaboradores de Köppen,

Nesta pesquisa foram calculados os dados de diversas estações meteorológicas espalhas pelo planeta terra, posteriormente interpolados pelo método Spline de placa fina em uma grade de $0,1 \times 0,1$ para cada continente. Com base nestes grandes conjuntos de dados globais de precipitação mensal de longo prazo e séries temporais de estação de temperatura. Obtiveram o resultado de um mapa-múndi de modelo global de clima (Figura 13).

Figura 13: Sistema de classificação climática de Köppen a partir do trabalho de Peel, 2007.



Fonte: PEEL, 2007.

No Brasil foram estabelecidos três grupos de climas a saber: Tropical chuvoso ou Equatorial úmido, Climas secos e Climas mesotérmicos (IBGE, 1978). Os tipos climáticos propostos pelo IBGE, são climas quentes, sub-quentes, mesotérmico brando e mesotérmico mediano.

Os tipos climáticos são definidos de acordo com as abordagens de Köppen e pelo IBGE, que faz uma classificação para o país em três grupos de climas genéticos: Tropical chuvoso ou Equatorial úmido, Climas secos e Climas mesotérmicos, se subdividindo em: clima equatorial, tropical zona equatorial, tropical nordeste oriental, tropical Brasil central e clima temperado (IBGE, 1978). Esta classificação, utilizada ainda em outros países, permite o estudo detalhado das transições entre os tipos de clima no Brasil (DUBREUIL et al., 2018).

Existem vários modelos para classificar o clima mundial, do Brasil e para Amazônia (Quadro 02), existindo duas abordagens fundamentais às classificações climáticas, a primeira diz respeito a abordagem genética e a segunda confere a abordagem empírica ou genérica como já foi abordado. Para a Amazônia o mesmo quadro caracteriza estas classificações climáticas.

Quadro 02 – Modelos de classificação climática para a Amazônia.

Proposta por	Modelo de classificação climático	Características
Köppen, 1900-1936	CLIMA TROPICAL CHUVOSO – tropical de monção (Am)	Temperatura média de 18°C, monção, com breve estação seca e com chuvas intensas.
Flohn, 1950	I - ZONA EQUATORIAL (ventos de oeste)	Constantemente úmida
Miller, 1965	CLIMAS QUENTES – Tipo monção equatorial (A1m)	Temperaturas média anual maior do que 21,1°C, nenhum mês tem temperatura média inferior a 18°C.
Strahler, 1969	I – CLIMAS DAS LATITUDES BAIXAS – Equatorial úmido	Controladas pelas massas de ar equatoriais e tropicais.
IBGE, 1973	EQUATORIAL - Úmido	Quente, média de 18°C os meses do ano.

Fonte: adaptado de AYOADE, 1996; TORRES, 2008; IBGE, 1973.

A Amazônia engloba o tipo climático equatorial quente e úmido, que se caracteriza pela intensa radiação, temperaturas elevadas acima de 18°C, e precipitação, relacionadas as características atmosféricas e da vegetação abundante na região.

A variação atende vários elementos do clima tais como a temperatura, que se elevam motivadas pelas características da umidade atmosférica, ângulo de inclinação da Terra. Da circulação atmosférica, sistemas de massas de ar a ZCIT, a precipitação, que sofre interação, junto com os demais fatores, de eventos de oscilação sul (El Niño e La Niña). Com isso é de suma importância o esclarecimento de como esses elementos se relacionam dentro do conjunto climático global, regional e local. Para isso se faz necessário a caracterização de alguns elementos chaves neste estudo.

4.3 ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITES

Novo (2010) define que o sensoriamento remoto implica na obtenção da informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam. Os estudos do clima por meio das técnicas de sensoriamento remoto são recentes, estes estudos têm sido conduzidos principalmente pela NASA e a NOAA, com seus programas espaciais para lançamentos de satélites que fazem o monitoramento de elementos do clima.

Há um grande número de satélites que possuem diversos tipos de sensores para medir as propriedades da atmosfera conhecidos como satélites ambientais (NOVO, 2010). Na ordem cronológica a série de satélites Landsat, que hoje está na sua 8ª versão, foi lançado em 1972 pela NASA, com o objetivo de monitoramento ambiental. Uma das aplicações do Landsat é medição da evapotranspiração em modelos hidrológicos, Granger (2000) fez esta aplicação em estudo regional na bacia de Gediz, Turquia, aplicando imagens NOAA-AVHRR e LANDSAT da região analisando as estimativas de temperatura de superfície, déficit de pressão de vapor e radiação líquida derivadas das imagens de satélite. Em 1975 o Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) foi lançado ao espaço para obter dados da atmosfera

Na década de 1980, a 4ª versão do METEOSAT-4 entrou em operação para coletar dados da circulação atmosférica ao redor do Equador (EUMETSAT, 2021), nesta mesma linha a Organização Europeia para a Exploração de Satélites Meteorológicos apresentou, em 2002, a nova geração de satélites meteorológicos geostacionários europeus, Meteosat Second Generation (MSG), com recursos aprimorados (SCHMETZ, 2002). Citeau et al. (1988) utilizando um o conjunto de dados numéricos da série Meteosat na região do continente Africano estudou os níveis de precipitação associados a Zona de Convergência Intertropical.

Assim como a série Meteosat, a circulação da atmosfera é observada pelo satélite QuikSCAT que fornece o primeiro atlas *online* de alta resolução espacial baseado em observação, dos ventos oceânicos (CRAIG et al., 2006).

Em 1998 foi lançado o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), é uma missão espacial conjunta entre a NASA e a Agência Nacional de Desenvolvimento Espacial do Japão (JAXA), projetado para monitorar e estudar a precipitação tropical e subtropical e a liberação de energia associada (HUFFMAN e PENDERGRASS, 2018). Este satélite (TRMM), possibilitou a oportunidade de monitorar a precipitação em regiões onde os dados convencionais são escassos (KUMMEROW et al., 2000). Estas áreas não incluem apenas os oceanos da região tropical, mas também áreas continentais, como a Amazônia.

Lançado no final de novembro de 1997, com uma vida útil de projeto de 3 anos, o satélite produziu mais de 17 anos de valiosos dados científicos. Os dados da era TRMM ainda estão sendo processados pela Global Precipitation Measurement (GPM), dessa forma o algoritmo 3B43 continuou sua produção de dados de chuva até no final de 2019. Quando se trata de sensores para medição do clima o TRMM transporta 5 instrumentos, um conjunto de precipitação com 3 sensores (PR, TMI, VIRS) e 2 instrumentos relacionados (LIS e CERES) descritos a seguir:

- **Visible Infrared Radiometer (VIRS):** O VIRS (da herança NOAA AVHRR) é um radiômetro de varredura cross-track de cinco canais operando a 0,63, 1,6, 3,75, 10,8 e 12, que fornece observações de alta resolução na cobertura de nuvens, tipo de nuvem e temperaturas máximas de nuvens.
- **TRMM Microwave Imager (TMI):** é um radiômetro de micro-ondas passivo multicanal operando em cinco frequências: 10,65, 19,35, 37,0 e 85,5 GHz em polarização dupla e 22,235 GHz em polarização única. O TMI fornece informações sobre o conteúdo de precipitação da coluna integrada, água líquida da nuvem, gelo da nuvem, intensidade da chuva e tipos de chuva (por exemplo, estratiforme ou convectiva).
- **Precipitation Radar (PR):** o primeiro de seu tipo no espaço, é um radar de varredura eletrônica, operando a 13.8 GHz, que mede a distribuição 3-D da chuva na terra e no oceano e define a profundidade da camada de precipitação.
- **Cloud and Earth Radiant Energy Sensor (CERES):** medirá a energia no topo da atmosfera, bem como estimará os níveis de energia na atmosfera e na superfície da Terra.

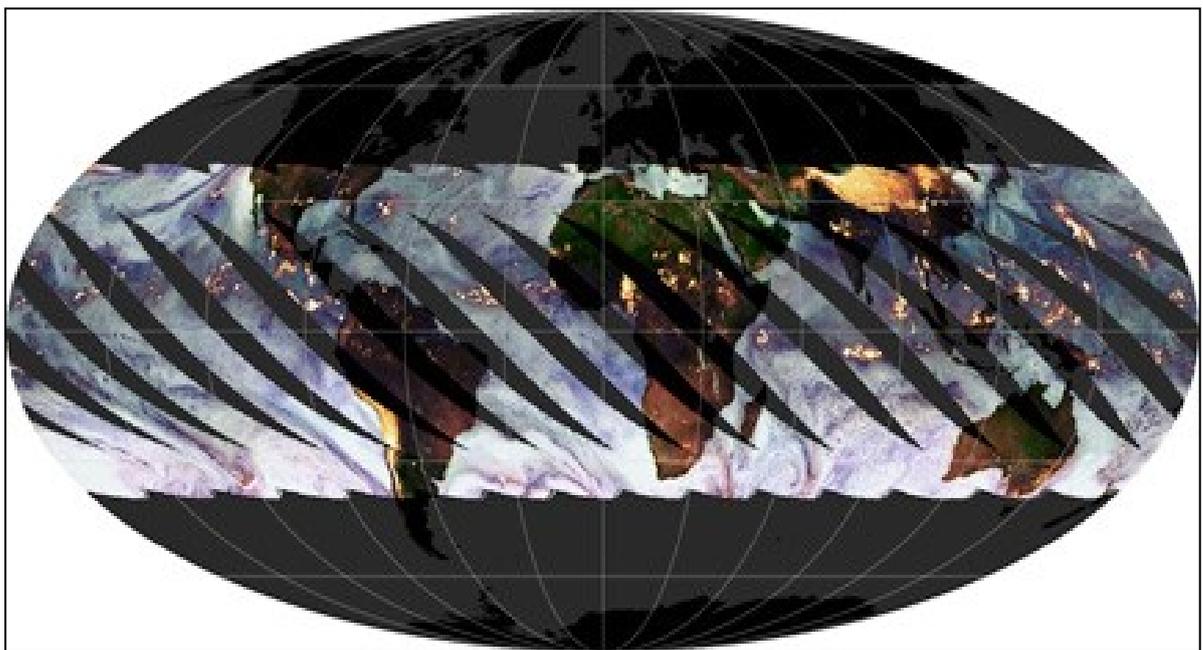
- **Lightning Imaging Sensor (LIS):** O Lightning Imaging Sensor é um instrumento pequeno e altamente sofisticado que detecta e localiza relâmpagos na região tropical do globo.

O conjunto de dados TRMM tornou-se o padrão espacial para medir a precipitação e levou a pesquisas que melhoraram nossa compreensão da estrutura e evolução dos ciclones tropicais, propriedades do sistema convectivo, relações tempestade-relâmpago, modelagem climática e impactos humanos nas chuvas. Os dados também suportaram aplicativos operacionais, como monitoramento de inundações e secas e previsão do tempo (KUMMEROW et al., 2000).

A vantagem de utilização desse equipamento está relacionada a sua resolução espacial, pois permite a estimativa da precipitação para grandes áreas de maneira mais rápida e econômica. Um dos fatores para sua vantagem na utilização de estimativas de precipitação para a faixa tropical (Figura 14), é o fato deste trafegar a uma baixa altitude orbital de 400 km a coleta de dados da precipitação tropical deste satélite ajuda a melhorar a compreensão sobre o clima e o tempo (LAWLER, 2004; COUNCIL, 2006).

Para colher as informações de precipitação entre outras informações o satélite possui uma baixa inclinação orbital, a apenas 35 ° do Equador, isso permite que seus instrumentos se concentrem nos trópicos. A imagem abaixo mostra metade das observações que o TRMM faz em um único dia. (Imagem da NASA).

Figura 14: Faixa imageada pelo satélite TRMM.



Fonte: PMM, 2020.

O sensor utilizado nesta pesquisa foi o radar de precipitação (PR), que produz informações sobre a intensidade, tipo de precipitação, a variabilidade espacial da chuva, a profundidade e a altura que os cristais de gelo se transformam em chuva (COLLICHONN, 2006). De acordo com Iguchi et al., (2000), este sensor permite a captura da estrutura tridimensional da tempestade sobre o oceano e a terra onde nenhum dado de radar desse tipo estava disponível nas versões anteriores.

Estudos anteriores mostraram a capacidade do sensor PR em produzir medidas de refletividade estáveis com exatidão inferior a 1 dBZ, sendo, portanto, uma ferramenta útil para a calibração de radares de superfície (FURUKAWA, 1998; ANAGNOSTOU et al., 2001; MORALES et al., 2004; LAWRENCE, 2006).

O algoritmo utilizado nesta pesquisa é o 3B43, o objetivo do algoritmo é produzir a "Missão de Medição de Precipitação Tropical (TRMM) e outros dados", melhor estimativa da taxa de precipitação e estimativas de erro de precipitação de raiz quadrada média (RMS). Essas estimativas em grade estão em uma resolução temporal do mês civil e em uma faixa global de resolução espacial de $0,25^\circ$ por $0,25^\circ$, estendendo-se da latitude de 50° Sul a 50° Norte (NASA, 2008).

Este produto se mostrou muito satisfatório em diversos estudos relacionados ao TRMM/3B43 v7, para diferentes regiões do globo terrestre. Os trabalhos de Ulloa et al. (2017) sobre o Equador na América do Sul, o estudo de Mejía et al. (2021), onde os autores validaram as estimativas de precipitação detectadas remotamente pela Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) em escalas de tempo mensais e sazonais, durante o período de 1998-2015, calculando e analisando diversas métricas de erro entre o produto 3B43 V7 e medições *in situ* de 1.180 pluviômetros sobre a Colômbia.

4.3.1 Comparações entre estimativas de precipitação estimadas por satélites e medições por estações pluviométricas

Nos últimos anos uma gama de trabalhos vêm sendo produzidos e evidenciando a eficácia do satélite TRMM para estimativas de precipitação através do sensor de precipitação (Precipitation Radar). Estes trabalhos abordam as mais variadas temáticas sendo: Alder et al., (2003); Collischonn et al., (2006); Nobrega (2008); Louzada (2016), dentre outros autores.

A validação desses dados passa por uma correlação de pontos de superfície para verificar a boa concordância entre eles, com uma atenção especial para o produto TRMM-3B43, apresentando maior confiabilidade nas correlações (AS-SYAKUR et al., 2013; DINKU et al., 2007; COLLISCHONN, 2006; COLLISCHONN et al., 2007; FEIDAS, 2010). Em trabalho realizado por Adler et al. (2000), onde este analisa as distribuições de chuva tropical determinadas usando TRMM combinadas com outras informações de satélite e pluviômetro, tem como parte de seus resultados que as comparações dessas estimativas de análise mesclada TRMM com conjuntos de dados de superfície mostram resultados variados, porém satisfatórios para uma escala de análise mensal dos níveis de precipitação.

Segundo Collichonn (2006) os modelos alternativos utilizando estimativas de satélites, tem um desempenho inferior ou similar aos modelos convencionais. Ainda ressalta que os dados obtidos em campo por satélites são ferramentas potenciais para a consistência de dados pluviométricos em bacias hidrográficas e ferramentas para estimar precipitação em áreas com deficiente rede pluviométrica, considerando que os resultados obtidos pelos pluviômetros e por dados de satélites mostram resultados com valores bem próximos.

Em estudo realizado para comparar os dados de precipitação do satélite TRMM com os de estações meteorológicas convencionais. Pereira (2013) estimou que há uma equivalência de 97% entre os dois parâmetros estudados em um período de 1998 a 2010, utilizando 183 estações distribuídas pelo território brasileiro na qual 64 estão localizadas na região Nordeste, 39 no Norte, 8 no Centro-Oeste, 27 no Sul e 45 no Sudeste. Apresentando assim uma compatibilidade de informações.

Neste mesmo estudo o autor validou as informações pela comparação entre os dados mensais de precipitação disponibilizados pelo Grupo de Previsão Climática do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (a partir dos dados do SYNOP/INMET, PCDs e parceiros do PMTCRH/INPE) e os dados estimados pelo TRMM para o período compreendido entre janeiro de 1998 e dezembro de 2010 (PEREIRA, 2013).

Para avaliar as estimativas de precipitação para a região hidrográfica amazônica, Almeida et al. (2015) argumenta que o monitoramento pluviométrico de uma região requer uma densa rede de pluviômetros bem espacializados. Uma vez que a escala de medição destes equipamentos é pontual, assim não fornecendo valores que reflitam a realidade de uma imensa área (KIDDER e HAAR, 1995). Nos argumentos de Nobre et al. (2009), por possuir grande extensão territorial e densas áreas de floresta, a região Amazônica apresenta baixa

densidade de estações meteorológicas convencionais e automáticas, o que pode causar incertezas significativas no entendimento dos diferentes processos relativos aos mecanismos dinâmicos do clima e sua variabilidade espacial.

4.4 BACIA HIDROGRÁFICA E BACIAS COSTEIRAS

As bacias hidrográficas são uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Com isso a bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

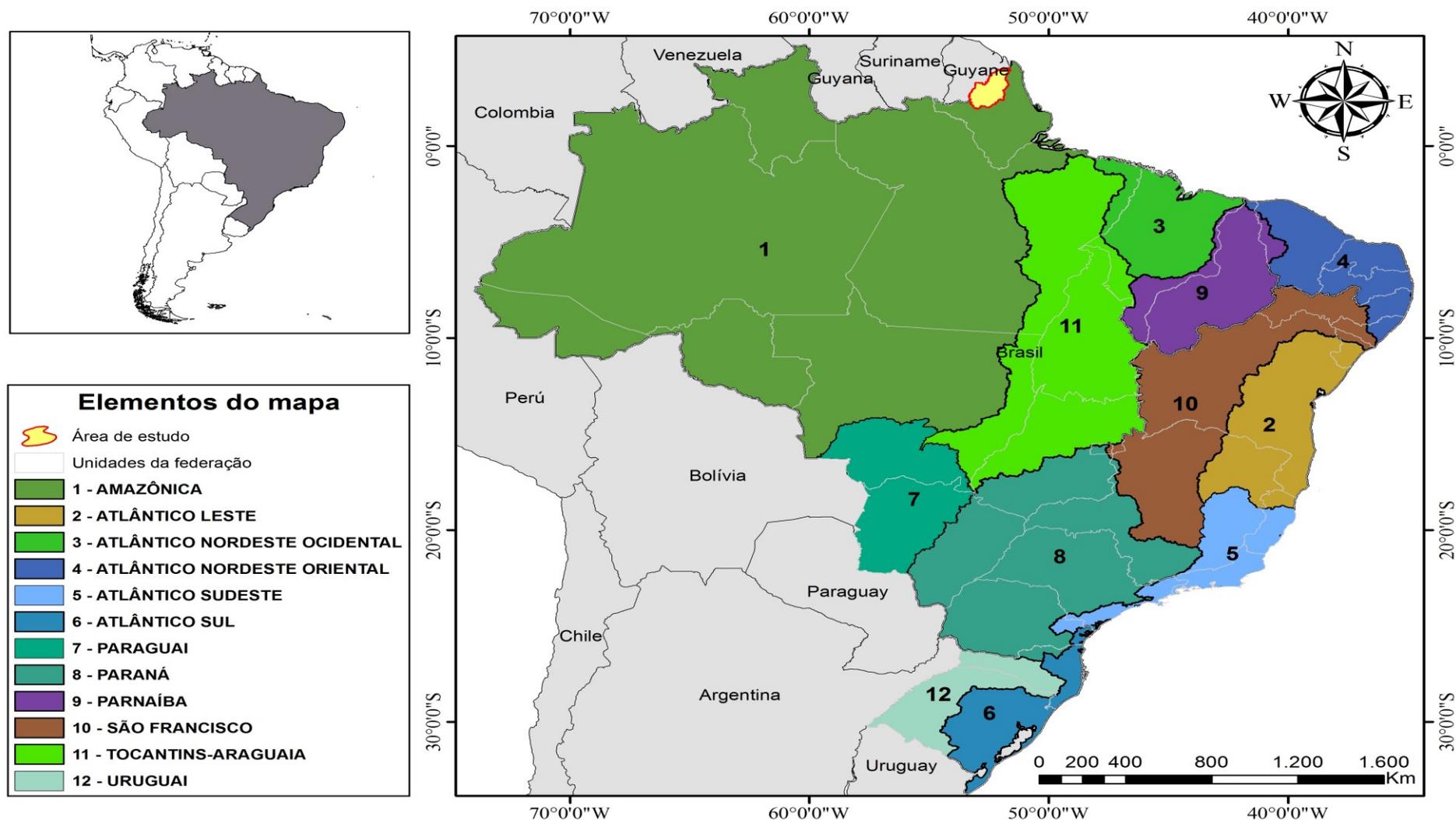
Segundo Porto et al. (2008) a bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos.

As características geomorfológicas, geológicas, topográficas e o tipo de vegetação que recobre as bacias hidrográficas irão ter impacto direto em sua dinâmica hídrica tanto no curso de água (FINKLER, 2014), quanto na quantidade de descarga deste corpo de água.

Desta forma, uma bacia hidrográfica pode atender a diversas atividades, desde o fornecimento de água para o abastecimento urbano, transporte e circulação e aproveitamento de sua declividade para geração de energia elétrica. Diante do exposto, uma bacia pode ser frequentemente utilizada como referencial geográfico para adoção de práticas de planejamento, gestão ou aproveitamento dos recursos naturais (PARIZOTTO, 2008).

O Brasil apresenta uma extensa rede hidrográfica, uma das maiores do planeta (MARCUSO, 2017), devido a sua extensão territorial foi dividido em regiões hidrográficas, considerando a importância de se estabelecer uma base organizacional que contemple bacias hidrográficas como unidade do gerenciamento de recursos hídricos para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003). Sendo elas: Região Hidrográfica Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, do Paraíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Paraguai, Paraná, do Sudeste, Uruguai e Atlântico Sul (Figura 15).

Figura 15: Regiões hidrográficas localizadas no Brasil com destaque para a Bacia do Rio Oiapoque.



Fonte: Elaborada por MANCIO FILHO, 2021, adaptado a partir da ANA, 2020; IBGE, 2020. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets>.

As zonas costeiras possuem relações funcionais importantes com as bacias hidrográficas partilhando de uma inter-relação entre processos naturais e atividades humanas (COCCOSSIS, 2004). Sabendo que uma bacia é uma área delimitada por suas vertentes constituídas pela superfície do solo, ou seja, pontos mais elevados de relevo, e de uma rede de drenagem (FINKLER, 2014), que escoam para uma drenagem principal até seu exutório, podemos definir que uma bacia costeira tem seu curso de água convergindo por um leito único até seu ponto de saída ligadas as zonas costeiras tendo o padrão de escoamento classificado como exorreicas, escoando para um oceano (MAGALHÃES JUNIOR e BARROS, 2020). Compõem um sistema único, com relações entre diferentes componentes formando uma paisagem peculiar (ZANELLA et al., 2013), dando à sua foz uma característica única de ambientes costeiros, como manguezais, praias, restingas e usos humanos.

Portanto, as bacias costeiras são importantes por abrigarem ecossistemas naturais (COCCOSSIS, 2004), oportunidades para o desenvolvimento de atividades humanas estratégicas. Como os manguezais tropicais, nos argumentos de Lee et al. (2014) tem o papel de berçário, proteção da linha de costa, capacidade de construção de terreno, tem influência dos regimes de marés.

Dentre as regiões hidrográficas do Brasil, nove tem ligação com a zona costeira, dentre essas regiões existem as sub-bacias que tem seus estuários ligados a dinâmica da zona costeira. Devido a estas questões de usos da zona costeira. O Brasil buscou iniciativas para gerir o litoral do país no contexto da gestão, especificamente os recursos hídricos, através de iniciativas para gerir os recursos hídricos que partiram tanto do modelo francês de gerenciamento quanto dos princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), amplamente discutidos na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92) (BENTO SILVA et al., 2017).

Em termos legais, para a gestão das bacias hidrográficas, a constituição de 1988 estabeleceu que, no seu artigo 21, inciso XIX, determinando como competência de a União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) e define os critérios de outorga do direito de uso desse recurso (BRASIL, 1988). Adiante ocorreu a descentralização das tomadas de decisões com a implantação da Lei n.º 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição

Federal. Esta lei fundamenta que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

No mesmo contexto, a constituição criou o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) foi institucionalizado no Brasil a partir da promulgação da Lei Federal nº 7.661/88, com o objetivo de orientar a utilização racional dos recursos da Zona Costeira, de forma a melhorar a qualidade de vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural. Com destaque para os recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas (BRASIL, 1988).

Em 2005 foi aprovada a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), com a finalidade orientar o desenvolvimento das atividades que visem à efetiva utilização, exploração e aproveitamento dos recursos vivos, minerais e energéticos do Mar Territorial, da Zona Econômica Exclusiva e da Plataforma Continental. Portanto a implementação das disposições legais de gestão da zona costeira mostra a importância que este recorte geográfico para as atividades humanas e recursos costeiros.

4.5 A INFLUÊNCIA DO CLIMA NA ÁREA QUE ABRANGE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO OIAPOQUE

Dentre os elementos climáticos a precipitação é um fator primordial para a vazão de uma bacia hidrográfica, uma vez que a vazão do rio é em grande parte resultado da precipitação e da evaporação, conseqüentemente uma variabilidade interanual do clima, na qual períodos de excesso de precipitação tendem a ser seguidos por períodos de escoamento acima da média (MARENGO et al., 1998). Porém não se pode excluir outros fatores que estão correlacionados a capacidade de vazão tais como, relevo, vegetação e fatores antrópicos.

Duarte (2009), estudou os impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá-PE, argumentou que a precipitação é o principal “*input*” no sistema hidrológico, as alterações nela, proporcionadas por fatores naturais ou alterações climáticas, interfere diretamente no escoamento superficial, pois, o clima, a vegetação, o uso e cobertura da terra, a topografia e as características das chuvas

regulam os processos hidrológicos das bacias hidrográficas como a vazão durante os eventos de precipitação.

Outros autores discorreram sobre a temática clima-vazão, que influenciam todo ciclo hidrológico, assim Richey et al. (1989) fez uma análise de registros de vazão do rio Amazonas de 83 anos (1903 a 1985) este estudo mostra que não houve mudança estatisticamente significativa na vazão durante o período de registro e que a variabilidade interanual predominante ocorre no período de 2 a 3 anos escala de tempo. As oscilações da descarga do rio são anteriores às influências humanas significativas na bacia amazônica e refletem fatores extrabasinais (fluxos, movimentos lentos e arraste de detritos nos rios) e locais.

Villar et al. (2009) em estudo referente a vazão das sub-bacia amazônica, incluindo o Andes e o Peru, durante o período 1974-2004, concluíram que as mudanças nos extremos de descarga estão relacionadas à variabilidade regional da chuva e à circulação atmosférica associada aos indicadores climáticos tropicais. Ainda os autores afirmam que existe uma estabilidade da vazão média no fluxo principal em Óbidos-PA que é explicada por características regionais inversas às que envolvem os rios andinos, ocorrendo diminuição do escoamento superficial na fase baixa na região sul, e o aumento na fase alta na região Noroeste, a partir dos anos mil novecentos e noventa.

Além da precipitação, a temperatura tem influência nos valores das descargas dos rios com maior atenção para a Temperatura Superficial do Mar - TSM. Ronchail et al. (2005), observou que nos rios da América do Sul em especial os da Amazônia e do nordeste do Brasil, que as descargas dos rios também são influenciadas pela variabilidade da Temperatura Superficial do Mar do Oceano Atlântico. Quando a TSM do Atlântico Norte está mais fria ocorre maior descarga dos rios.

As condições climáticas atuantes na bacia hidrográfica do rio Oiapoque se relacionam com a vazão do rio que é em grande parte resultado da precipitação e evaporação de água (MARENGO et al., 1998), esta é a origem de todas as formas de precipitação, onde a quantidade de vapor d'água num certo volume de ar é uma indicação da capacidade da atmosfera em produzir precipitação, e conseqüentemente tem interdependência com as características da temperatura contribuindo na quantidade de água evaporando ocasionando uma maior nebulosidade. Por sua vez, as circulações atmosféricas e a variabilidade oceânica possuem um forte impacto sobre o ciclo hidrológico (LABAT, 2010).

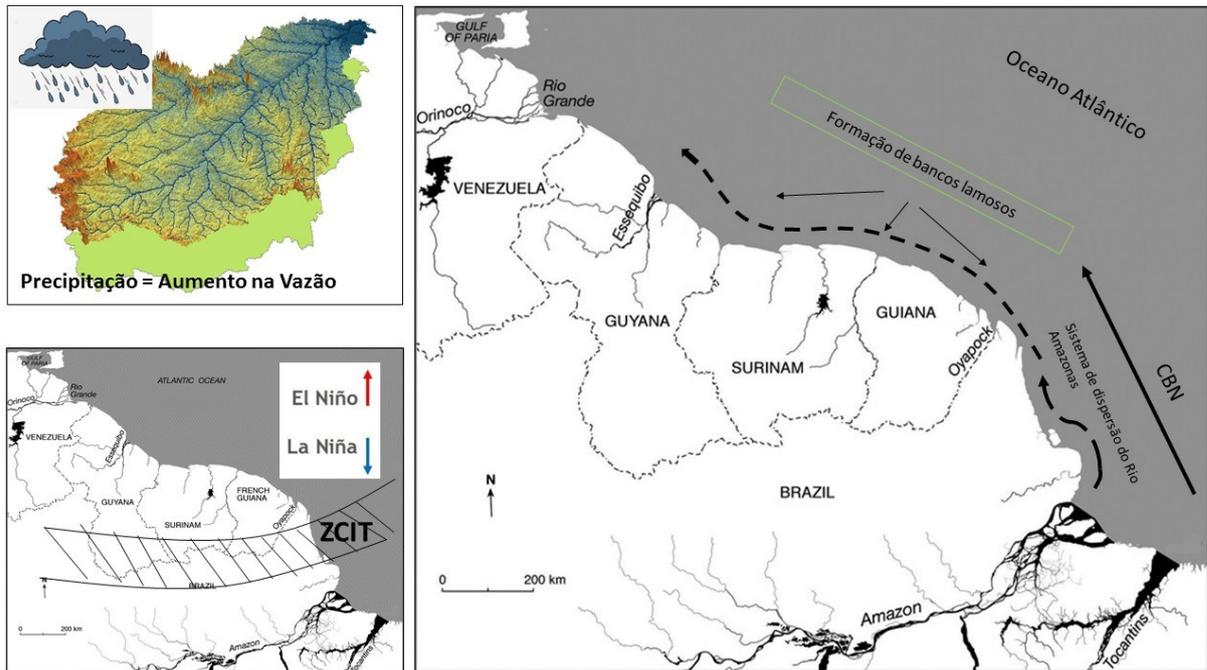
Parte deste conjunto de interações entre clima e descarga da bacia hidrográfica os ambientes costeiros se modificam constantemente. Quando a água está se movimentando rumo à saída de uma bacia hidrográfica, passa sobre as rochas e os solos que formam ou revestem as vertentes e as calhas da rede de drenagem. Os obstáculos que a água encontra determinam os caminhos que ela vai seguir e a velocidade que se deslocará, propiciando que partículas sejam removidas e transportadas vertente ou rio abaixo, pelo fluxo líquido. Embora eventuais, o deslocamento dos sedimentos carregados pela água pode ocasionar a alteração do ciclo hidrológico, e certamente afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS e SEMMELMANN, 1993).

Na costa amazônica, principalmente a norte do estado do Amapá, os estuários dos rios estão localizados em uma região sujeita a fenômenos de larga escala associados a presença dos fatores climáticos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Corrente Costeira Norte Brasileira (CCNB) e o Sistema de Dispersão do rio Amazonas (figura 15).

Os regimes de marés aliados aos aspectos climáticos, são também condicionantes que modificam as feições costeiras através da energia das ondas que retiram sedimentos resultando em planícies de maré arenosas ou lamosas (SANTOS, 2006). As planícies lamosas são usualmente formadas próximo aos rios com grande suprimento de lama, sendo os canais de marés as feições típicas desses ambientes (READING e COLLINSON, 1996).

O estuário do rio Oiapoque segundo Allison et al. (1994), junto com os estuários dos rios Uaçá e Cassiporé estão localizados em uma zona transicional entre um setor costeiro erosional (ALLISON et al. 1994) e uma costa deposicional que se inflete para noroeste formando os maiores bancos lamosos do mundo que migram em direção a costa da Venezuela (WELLS; COLEMAN, 1978) como mostra as setas na figura 16. Como a planície costeira do Suriname que faz parte de uma extensa planície entre o rio Amazonas e o rio Orinoco que começou a se desenvolver cerca de 6.000 anos atrás onde grandes bancos de lama anexados a costa migram continuamente para o oeste influenciados pela Corrente Norte Brasileira (AUGUSTINUS et al., 1989).

Figura 16: Conexões dos processos na bacia hidrográfica e costa Amazônica com o clima.



Fonte: Elaborado por MANCIO FILHO, 2020. Adaptado de ANTHONY et al., 2013; AUGUSTINUS et al., 1989; ALLISON et al. 1994; COLEMAN, 1978; DUARTE, 2009; MARENGO et al., 1998; RONCHAIL et al. 2005; SANTOS, 2006; WELLS.

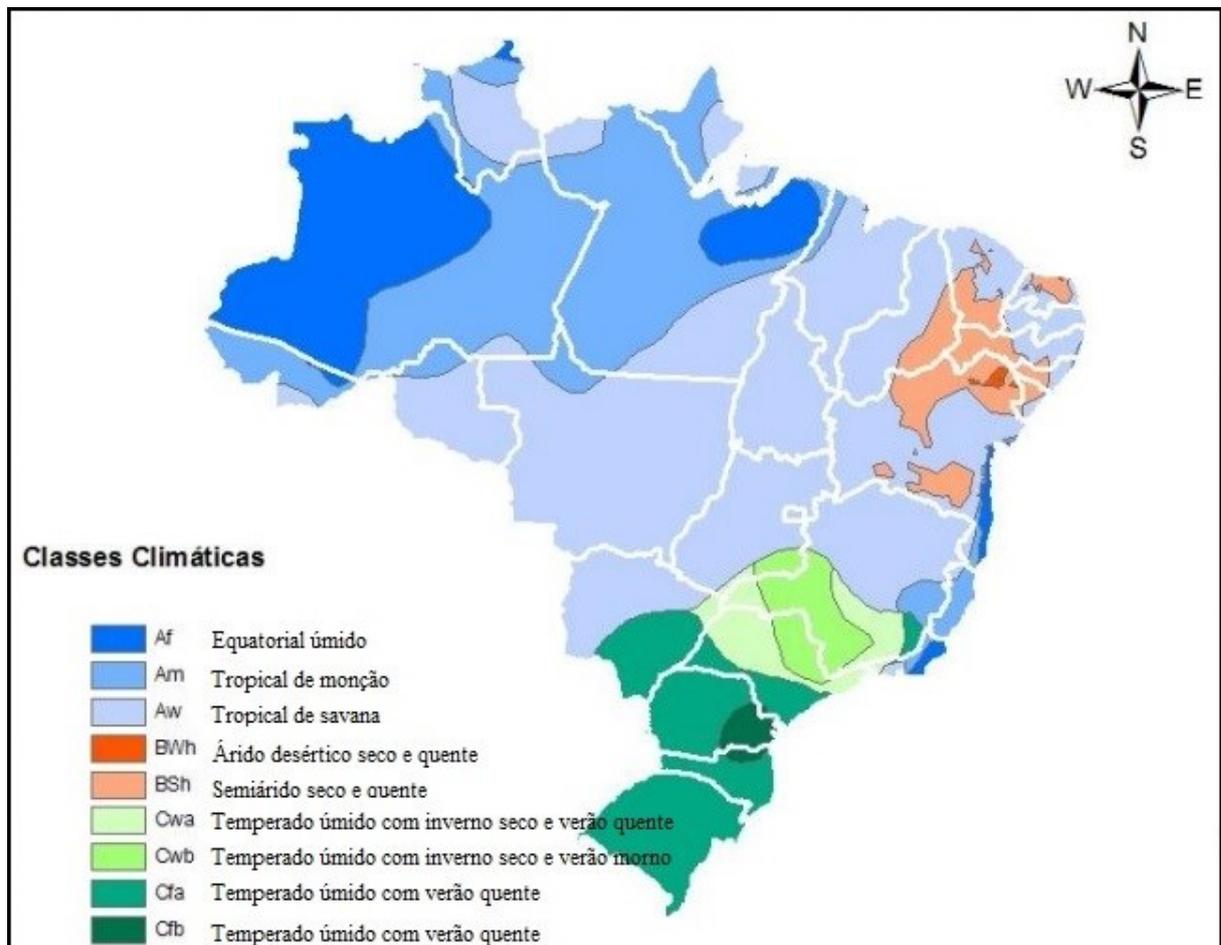
Por estar na maior área de atuação da ZCIT, influência do ENSO, sofre fortes influência da temperatura, circulação atmosférica, a região apresenta altas taxas de precipitação, concentradas entre os meses de dezembro e abril, com valores hídricos anuais atingindo cerca de 4.000 mm ao norte da costa do Amapá (SILVA e PORTELA, 2006). Esta variabilidade climática influencia as descargas hídricas. Ainda a sua localização geográfica de latitudes baixas, cerca de 2°N, e sofre influência dos aspectos hídricos da foz do Amazonas e da Corrente Equatorial Sul (ramo norte), na qual este regula o direcionamento do sistema de dispersão (OLIVEIRA et al., 2007) e as taxas de deposição, erosão e transporte, mudando a morfologia da zona costeira.

4.6 ELEMENTOS DO CLIMA ATUANTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO OIAPOQUE

Como mencionado anteriormente, a variabilidade do clima depende dos elementos e fatores modulados pelos padrões do sistema atmosférico, continentais e oceânicos de grande e média escala. Dentre as características do clima destacam-se os períodos chuvosos, distribuição espacial da precipitação influenciadas pelas massas de ar equatoriais, ZCIT e eventos ENSOS.

Como já foi explanado anteriormente, os tipos climáticos caracterizados nesta pesquisa foram elaborados por Köppen e seus colaboradores. Para o Brasil foram estabelecidos três grupos de climas a saber: Tropical chuvoso ou Equatorial úmido, Climas secos e Climas mesotérmicos (Figura 17). Os tipos climáticos propostos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, são climas quentes, sub-quentes, mesotérmico brando e mesotérmico mediano (IBGE, 2002). Ambas as classificações possuem diversas semelhanças.

Figura 17: Mapa de classificação climática de Köppen-Geiger para o Brasil.



Fonte: Adaptado a partir de Sampaio et al. 2011.

As características climáticas da região de estudo estão na classificação de tipos de climas quentes e úmidos típicos das zonas equatoriais. Grande parte dessas características se devem aos parâmetros que dão unidades aos mais variados climas do planeta tais como a temperatura, umidade atmosférica, circulação dos ventos, massas de ar, sazonalidade no deslocamento da ZCIT e o El Niño e La Niña.

Os elementos climáticos na área da bacia hidrográfica do rio Oiapoque por estar próximo a linha do Equador apresentam altas temperaturas. Na região de estudo constatou-se ausência de estações meteorológicas para medição de temperatura, com isso foi utilizado a estação de Macapá a 600 km de distância do município. Nesta estação verificou-se a temperatura máxima anual de 33°C de acordo com as medições realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estes valores incluem os parâmetros meteorológicos disponíveis na estação da capital do estado, para o período de 1961-1990 e 1981-2010, como mostra o gráfico 01.

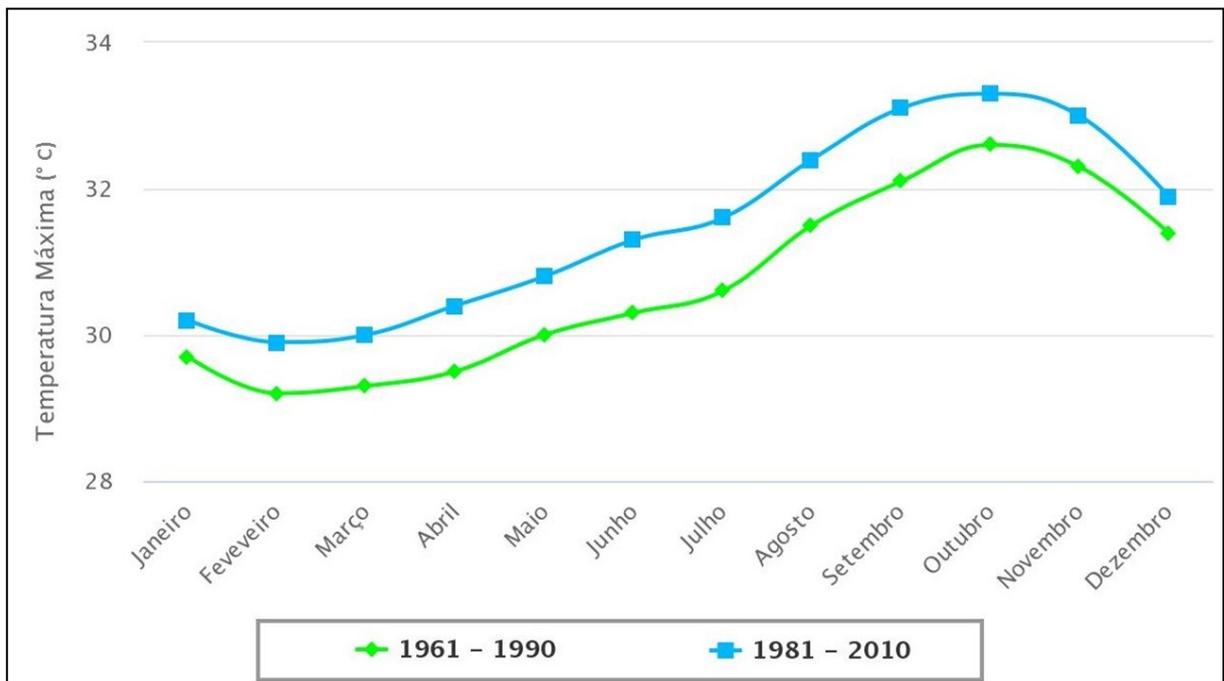


Gráfico 01 - Comparativo de temperatura máxima Estação Macapá.

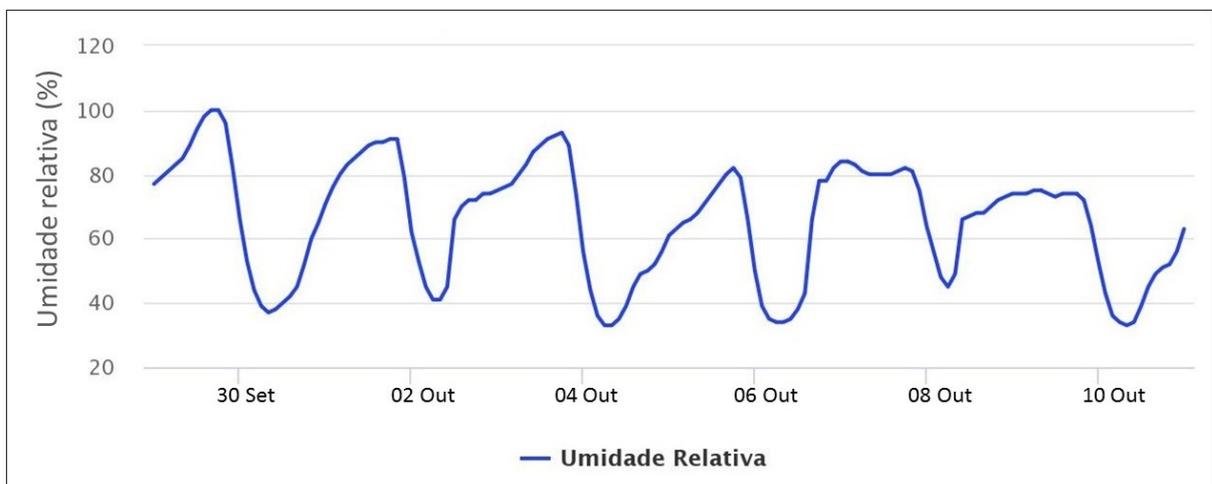
Fonte: INMET, 2020. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/temp>.

Comparando as temperaturas máximas obtidas na estação de Macapá para os períodos de 1961-1990 e 1981-2010, observou-se uma variação térmica para ambos os períodos. A linha exibida na cor verde do gráfico 01 mostra uma menor temperatura para os meses de fevereiro e março (29°C), atingindo sua máxima nos meses de outubro e novembro, cerca de 32°C. Para o período de 1981-2010 (linha azul do gráfico), os valores para os meses de fevereiro e março a temperatura fica entre 29°C e 30°C os meses com maior amplitude térmica são setembro e outubro (33°C).

Portanto, analisando os dois períodos há uma sazonalidade significativa no decorrer do ano, com temperaturas oscilando entre os 29°C e 33°C, comparando os meses com maior máxima de temperatura são os meses de setembro e outubro.

Este aumento da temperatura tem correlação com umidade do ar. A quantidade de vapor d'água contido na atmosfera depende do calor para produzir a evaporação da água, quando tem um aumento na temperatura, maior a capacidade de reter o vapor d'água. As medições feitas pelo centro de previsão de tempo e estudos climáticos (CPTEC/INPE) para a cidade de Oiapoque para um período de um mês (Outubro), os dados demonstram a variação da umidade relativa do ar (Gráfico 02) chegam entre 100% e valores mínimos de 33%. Contudo, Ayoade (1996) faz ressalvas sobre a umidade relativa, é importante lembrar que a umidade relativa não oferece informação sobre a quantidade de umidade na atmosfera, mas informa quão próximo o ar está da saturação.

Gráfico 02 - Umidade relativa do ar em %, Estação Macapá de 30 setembro à 10 de outubro.

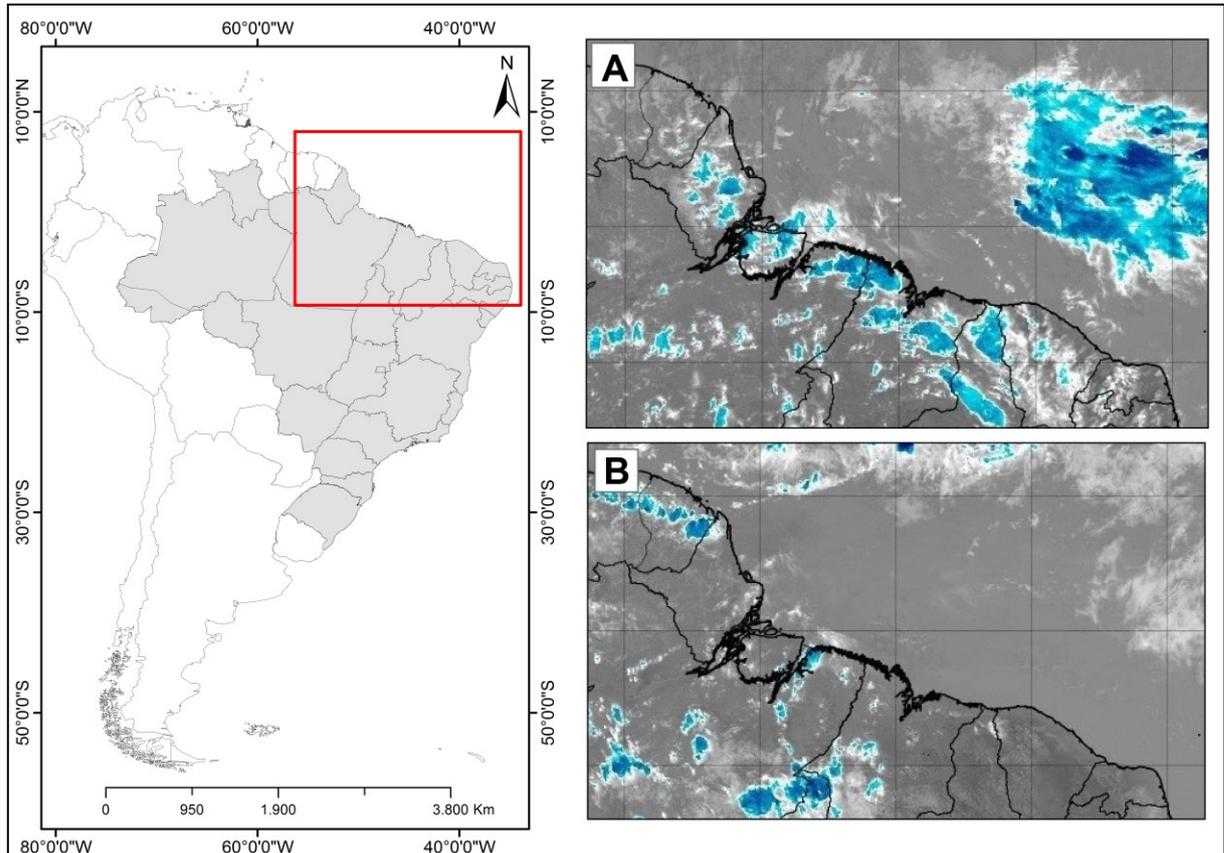


Fonte: CPTEC/INPE. Disponível em: <https://previsaonumerica.cptec.inpe.br/novo/meteograma/bam/ap/oiapoque>.

Vale ressaltar que estes valores apesar de serem baixos, para a realidade regional. Eles são mais elevados sendo comparados com regiões de latitudes mais elevadas. Os padrões de circulação atmosféricas na bacia do Oiapoque tem influência dos ventos alísios vindos de nordeste que tem correlação com a ZCIT. A Presença desta zona controla os ventos alísios que vem em direção a costa amazônica (SANTOS, 2006). Segundo De Souza e Cunha (2010), observa-se próximo à costa do estado do Amapá condições oceânicas e atmosféricas que favorecem a formação de nuvens convectivas sobre o Oceano Atlântico Equatorial, as quais podem se propagar em direção à Amazônia pelo escoamento de leste dos ventos. Estas linhas de instabilidade foram observadas por Santos (2006) em estudo sobre os ambientes costeiros, segundo a autora nas proximidades da ZCIT há o incremento de linhas de instabilidade com

nuvens causadoras de chuvas, normalmente do tipo cumulus, responsáveis em parte pela nebulosidade na costa do Amapá como mostra a figura 18.

Figura 18: Diagrama esquemático da nebulosidade associada às linhas de instabilidade em dois períodos, fevereiro e setembro.

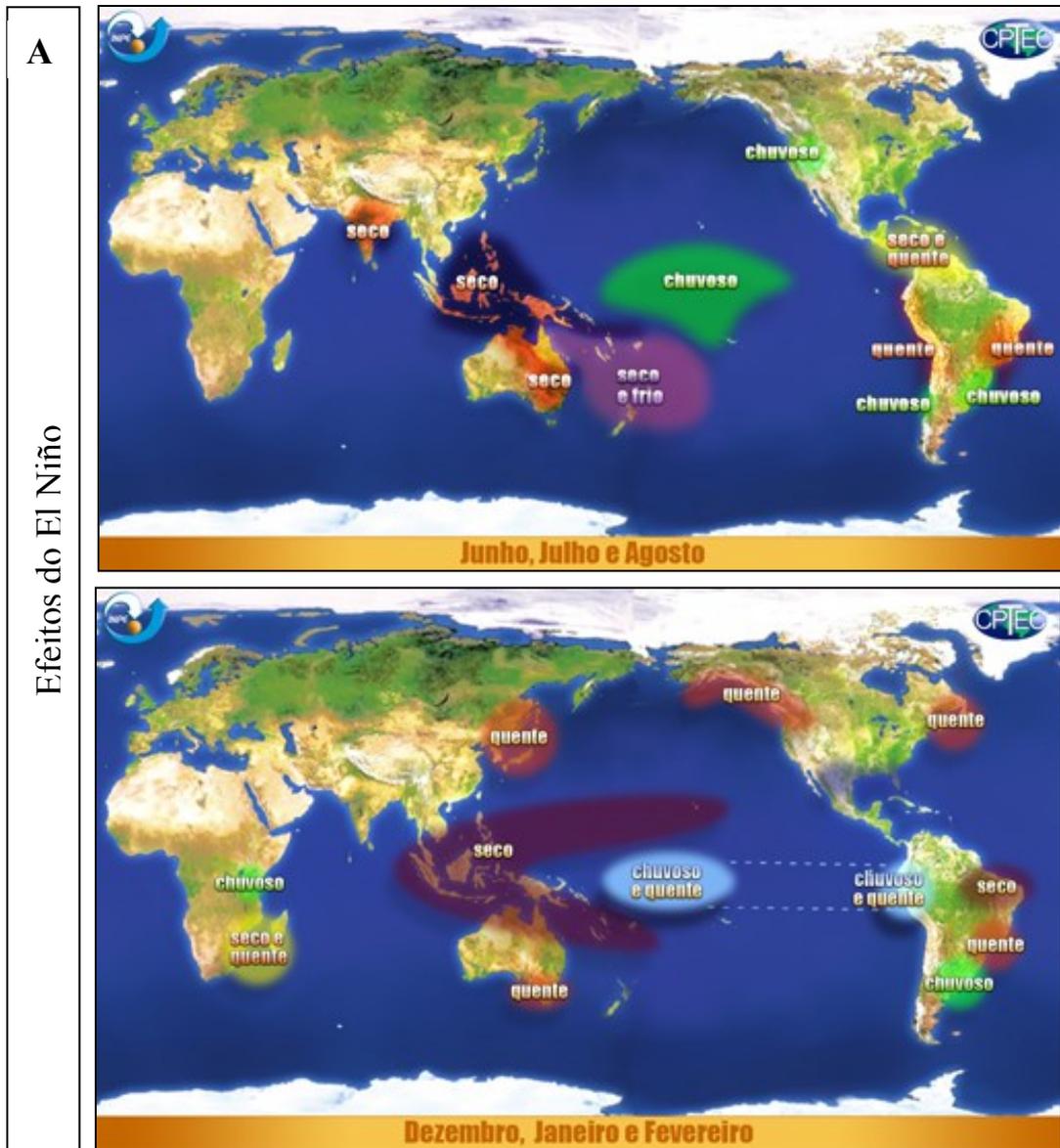


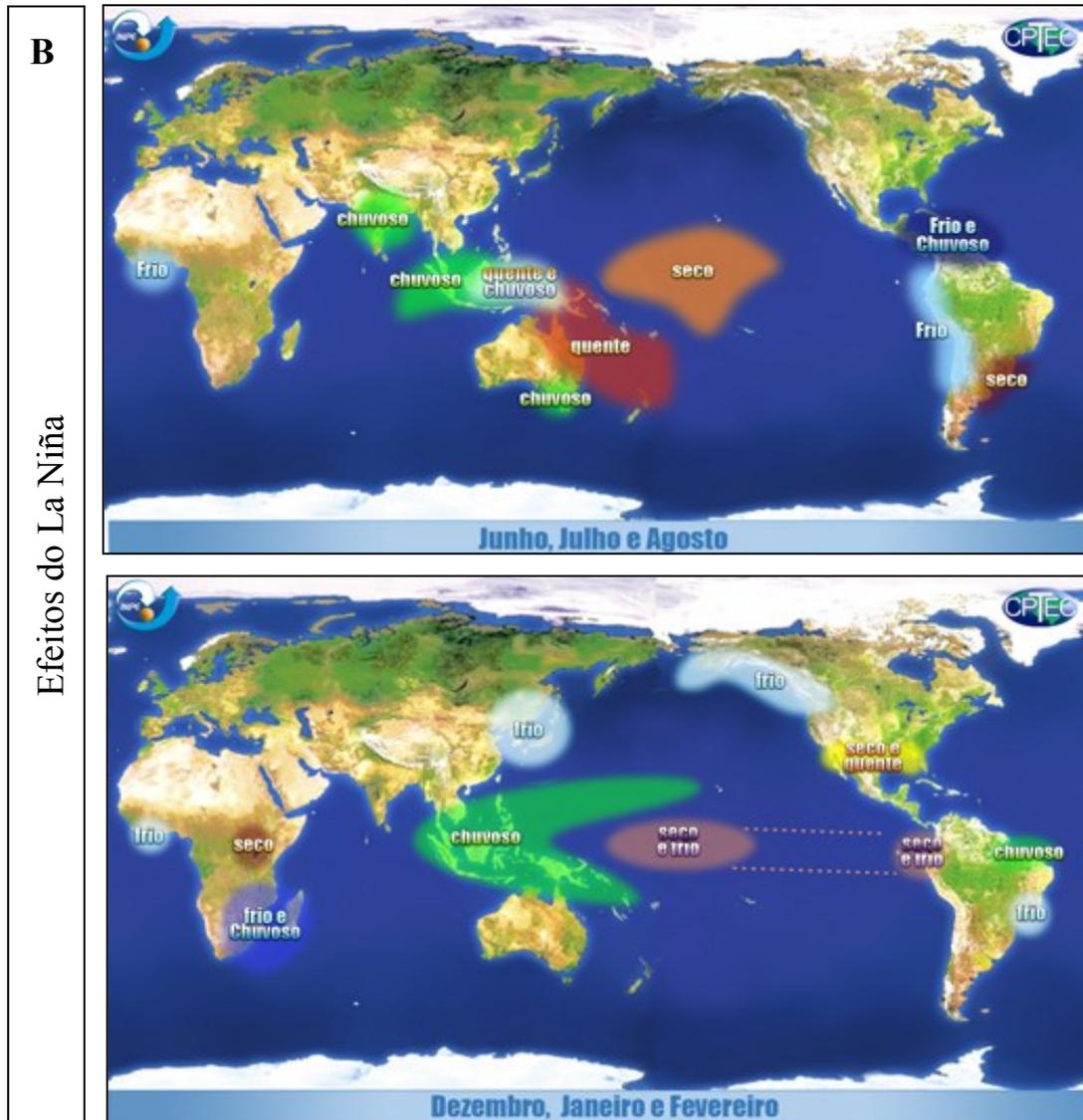
Fonte: MANCIO FILHO, 2021. Adaptado de INPE/CPTEC/NOAA/IBGE.

Fazendo uma comparação das imagens de nuvens obtidas pelo satélite GOES 16 no canal 7 para a América do Sul. Na figura esquemática “A” podemos observar uma maior concentração de nuvens para o mês de fevereiro ao norte do estado do Pará indo em direção a região Nordeste e uma instabilidade de nuvens no oceano Atlântico mais abaixo da linha do Equador. Na imagem “B” a linha de instabilidade observada se desloca mais a norte do estado do Amapá no mês de setembro.

Outros eventos que influenciam as características climáticas da bacia hidrográfica do Oiapoque estão ligados aos fenômenos do El Niño e La Niña. Durante o período do El Niño as condições são mais secas, situação “A”, e inversamente acontece com La Niña fevereiro, como mostra a situação “B” do esquema da figura 19.

Figura 19: Efeitos globais dos fenômenos El-Niño/La-Niña entre os meses de junho, julho, agosto e dezembro, janeiro e fevereiro com desenvolvimento de um período acentuadamente menos chuvoso nos eventos de El-Niño (A) e de condições mais chuvosas nos eventos de La Niña (B).





Fonte: Adaptado de: CPTEC/INPE. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/enos/globo_la-nina.shtml.

Os eventos El Niño e La Niña tendem a se desenvolver durante o período de abril a junho e atingem sua força máxima durante o mês de outubro –Normalmente persistem por 9 a 12 meses, embora persistam ocasionalmente por até 2 anos, ocorrendo em uma normalidade de 3 a 7 anos (CPTEC/INPE/NOAA). O evento, entretanto, possui várias escalas de ocorrência que variam de interanuais, multianuais, decenais e até ausência de eventos (tabela 03).

Tabela 03 - Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.

Ocorrência do El Niño	Ocorrência do La Niña
	1886
1877-1878	
1888-1889	1889-1890
1896-1897	
1899	
1902-1903	1903-1904
1905-1906	1906-1908
	1909-1910
1911-1912	
1913-1914	1916-1918
1918-1919	
1923	1924-1925
1925-1926	1928-1929
1932	1938-1939
1939-1941	
1946-1947	1949-1951
1951	
1953	1954-1956
1957-1959	1964-1965
1965-1966	
1968-1970	1970-1971
1972-1973	1973-1976
1976-1977	
1977-1978	
1979-1980	
1982-1983	1983-1984
	1984-1985
1986-1988	1988-1989
1990-1993	
1994-1995	1995-1996
1997-1998	1998-2001
2002-2003	
2004-2005	2006
2009-2010	2007-2008
2015-2016	2010-2011
	2017-2018
Forte Moderado Fraco	Forte Moderado Fraco

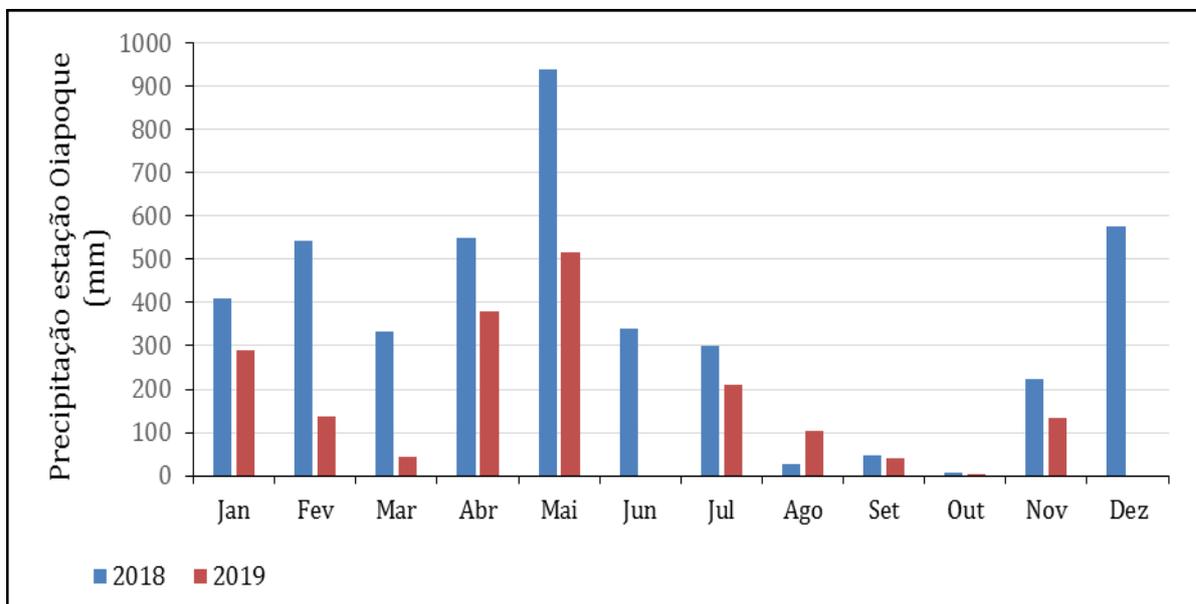
Fonte: Adaptado de: www.cpc.ncep.noaa.gov e <http://www.cptec.inpe.br/enos/>.

Ambos são partes do mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que se desenvolvem no oceano pacífico equatorial. Estas oscilações referem-se à situação pelo qual o oceano pacífico equatorial está mais quente, causado pelo El Niño, ou mais frio resultado do La Niña. A diferença na temperatura do oceano acarreta em efeitos globais na temperatura e precipitação.

A costa amazônica recebe a influência de ambos os fenômenos, nos anos que ocorreram, a região tem períodos de seca e elevadas descargas de chuvas. Quando o El Niño ocorre observa-se um período de secas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Quando a região está sob influência do La Niña o cenário muda para períodos chuvosos os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Com isso vale ressaltar a importância do conhecimento das oscilações e sua influência na costa amazônica e conseqüentemente na bacia do rio Oiapoque. Dados que influenciam na precipitação na região e podem influenciar na quantidade de vazão do rio.

O volume de chuvas na área de estudo é influenciado pelo deslocamento da ZCIT sobre o atlântico equatorial e os anos que ocorrem os eventos associados ao El Niño e La Niña. Os meses de maior volume de chuvas para região de estudo são os meses de abril e maio com máximas das totais mensais de 900 mm de chuva como mostra o gráfico comparativo de precipitação para os anos de 2018 e 2019 da estação pluviométrica do Oiapoque (Gráfico 03). Isso se dá devido a atuação direta da ZCIT atingindo sua posição mais austral.

Gráfico 03 – Estimativas de precipitação da estação Pluviométrica do Oiapoque em 2018 e 2019.



Fonte: ANA, 2020.

Desta forma pode-se considerar que as bacias hidrográficas, principalmente as localizadas na zona tropical do planeta, tem uma certa relação com o regime climático global. Estão submetidas à influência dos altos índices pluviométricos, da Zona de Convergência Intertropical, e Correntes marítimas. Isso possibilita uma intensa dinâmica hidrográfica que

requer uma análise mais aprofundada, podendo ser utilizada uma gama de ferramentas de estudo tais como os dados de sensores remotos.

5 METODOLOGIA

5.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS E FLUVIOMÉTRICOS DA BACIA DO OIAPOQUE

Para a realização deste estudo foram utilizadas as informações do banco de dados de precipitação do Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), 1981 até 2019. Para as informações de vazão foram utilizadas as informações disponíveis no site do MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável e Energia, 2015) mostrados no quadro 03. Com isso foram selecionadas as estações de Oiapoque e Saint-Georges (sob o código: 60200030) disponíveis no sistema HYDRO que armazena medições de nível de água (em intervalos de tempo variáveis, 1981 - 2019)

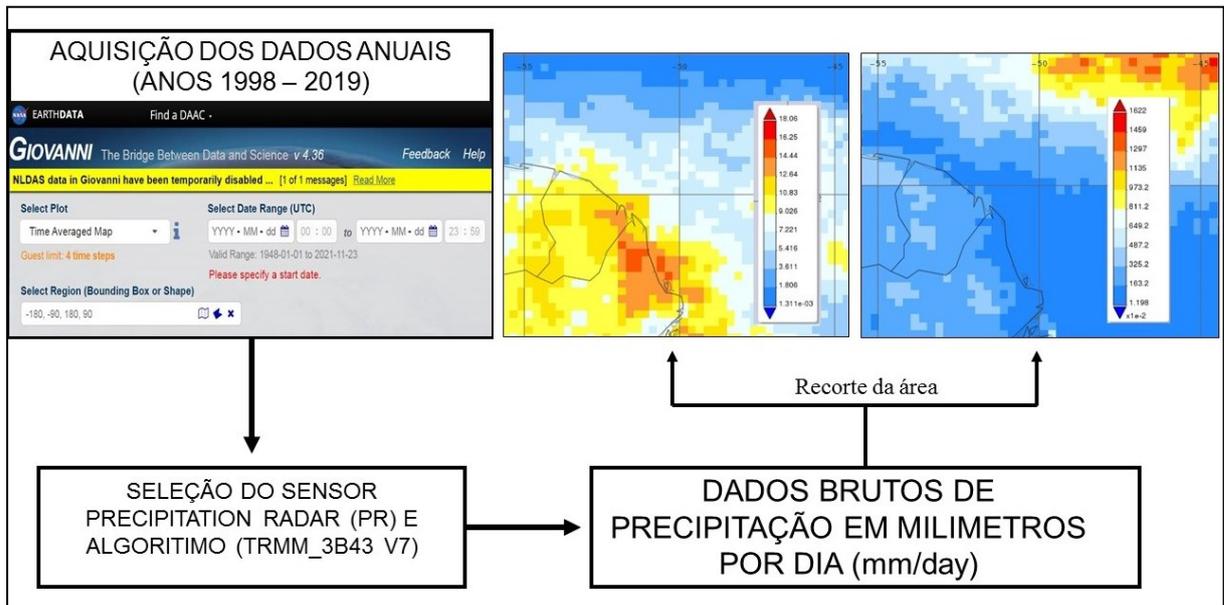
Quadro 03 – Estações pluviométricas e Fluviométricas utilizadas na pesquisa

Nome da estação	Código	Responsável	Localização geográfica
Oiapoque (Pluviométrica)	8351002	ANA/CPRM	Lat.: 3,84N°; Long.: -51,84°W
Saint-Georges (Fluviométrica)	60200030	DEAL Guyane	Lat.: 3,52N°; Long.: -51, 48°W

5.2 DADOS DE PRECIPITAÇÃO POR MEIO DA ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DAS INFORMAÇÕES DO SATÉLITE TRMM

Os dados de precipitação foram obtidos através do algoritmo 3B43 v7 que corresponde a series temporais de dados médios mensais de chuva, em milímetros por hora (mm hr-1), calculado a partir dos sensores de Radar de precipitação (Precipitation Radar - PR) do satélite TRMM, estes dados estão disponíveis no site da NASA, (Figura 20) pelo Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GESDISC) na plataforma Geoespacial Interactive Online and Analisis Infrastructure (ACKER; LEPTOUKH, 2007).

Figura 20: Estruturação da aquisição dos dados do TRMM.

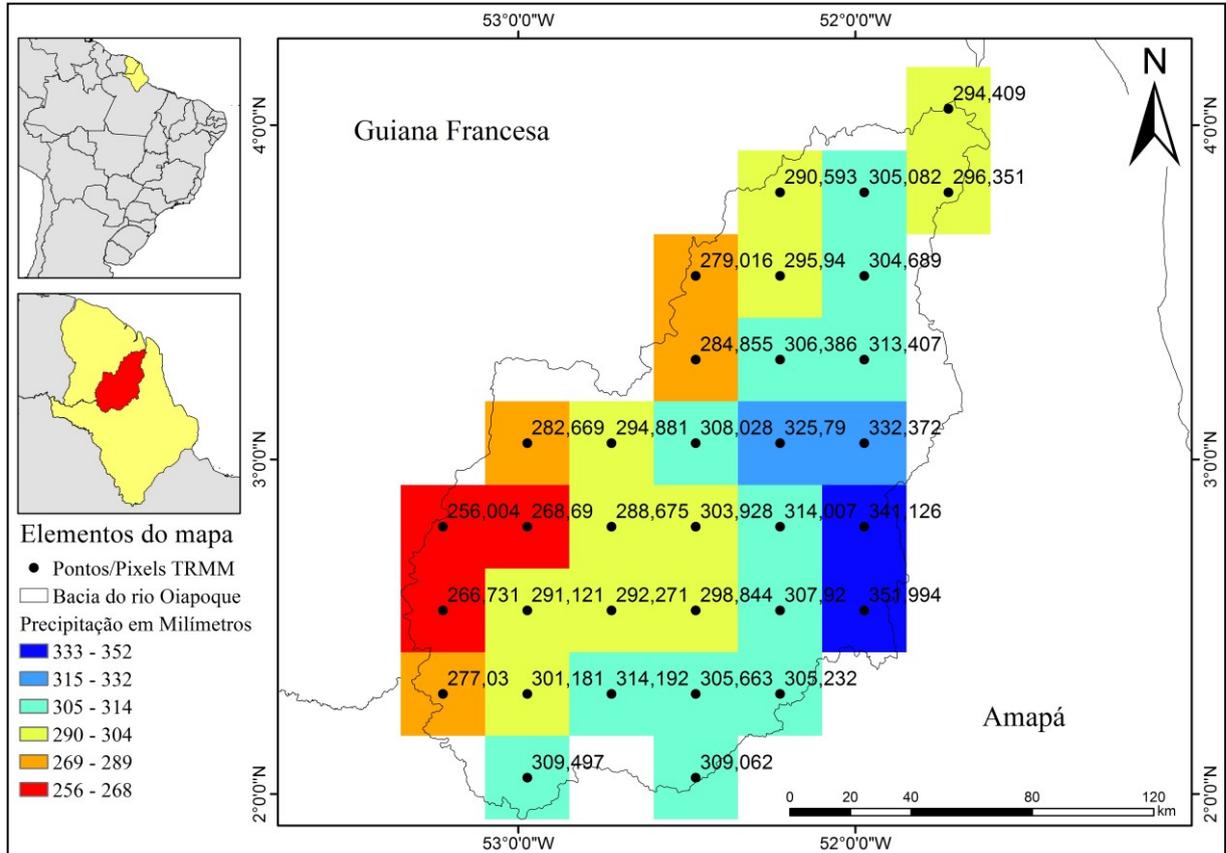


Fonte: Elaborado por MANCIO FILHO, 2021.

As medições das estimativas de precipitação do satélite TRMM, passaram por um processo de análise e interpretação, método utilizado por Nicholson et al. (2003), Adler et al. (2000) e Huffman et al. (2007).

Os dados de precipitação do sensor TRMM do produto 3B43v7, após baixados foram processados no *software* ArcMap, para geração do grid/pixel, que corresponde ao ponto de quantidade de precipitação em mm (Figura 21). A partir da grade de pixel medindo $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (no total de 34 pontos) do satélite TRMM, correspondendo aos valores de precipitação, foi calculada a precipitação em um intervalo de 21 anos (1998- 2019), obtendo a média de precipitação para cada mês e total anual dos anos referidos. Em seguida estes dados foram analisados no Microsoft Excel, possibilitando a geração de um conjunto de dados mensais e anuais de precipitação.

Figura 21: Delimitação da bacia hidrográfica do rio Oiapoque, grade de pixels do satélite TRMM com valores de precipitação. Processamento dos dados do produto 3B43 v7.



Fonte: Elaborado por MANCIO FILHO, 2021. Adaptado de SEMA/AP, 2003; IBGE, 2020

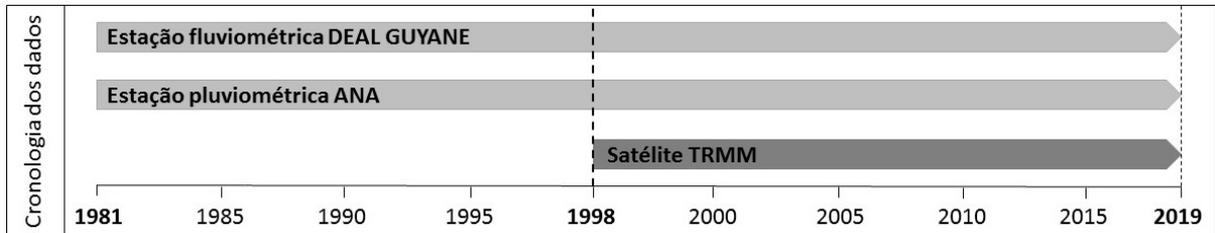
Após o processamento as informações dos pixels, foram interpolados pelo método Spline, é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada (MARCUSO et al., 2010). Para o autor o método Spline quando comparados com outros métodos de interpolação da distribuição espacial da chuva engloba de forma mais abrangente os valores de precipitação.

5.3 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DINÂMICA FLUVIAL: RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO TRMM=PRECIPITAÇÃO OBSERVADA=VAZÃO= EVENTOS ZCIT, EL NIÑO e LA NIÑA

Para avaliar a relação entre as variantes (precipitação, vazão, ZCIT e ENOS) foi feito um ajuste temporal de dados. Primeiramente, os dados da estação pluviométrica e fluviométricas, possuem um intervalo muito maior de coleta em relação ao TRMM. Visto que os dados do satélite iniciam em 1998 a 2019, ano de seu funcionamento orbital, em

contrapartida os dados da ANA e do DEAL GUYANE possuem períodos de informações mais longas (Figura 22).

Figura 22: Disposição dos dados da estação pluviométrica; satélite TRMM e Vazão, e os respectivos intervalos de coletas de informação.



Fonte: Elaborado por MANCIO FILHO, 2021. Adaptado de DEAL GUYANE, 2015; ANA, 2020; NASA, 2008.

Para originar a relação destas variáveis (Estação ANA/TRMM/Vazão/ZCIT/ENOS), buscou-se estabelecer os meses de descolamento da ZCIT e para os eventos ENOS foram selecionados os anos de ocorrência destes fenômenos, após isso foi necessário a aplicação de formulas estatísticas.

5.3.1 Estatística de correlação

As informações foram analisadas estatisticamente de acordo com o objetivo da pesquisa. O método de comparação estatística foram os mesmos propostos por Nicholson (2003); Leivas et al. (2009); Nóbrega et al. (2008).

A estatística empregada no estudo estabeleceu uma análise quantitativa, para isso, foram extraídos dados do TRMM, com um total de 34 pontos no ArcMap, assim extraíndo as médias mensais de precipitação do produto 3B43v7 para tabela Excel no formato xls. Os dados pluviométricos foram ordenados estatisticamente em médias mensais, o mesmo método foi utilizado para a vazão. Visualizou-se os dados em tabela Excel, para o confecção de gráficos (comparativos e dispersão) para a comparação da precipitação e vazão, retirando os períodos chuvosos e secos (IAC).

De forma complementar foram analisados o Coeficiente de Correlação de Pearson (r), esta equação (01) associa três variáveis (precipitação TRMM, precipitação observada na estação e vazão), substituindo as nomenclaturas de acordo com a equação (02) (NÓBREGA et al., 2008), onde a correlação varia de -1 a 1, um valor de 0 indica que não há correlação entre

as variáveis, inversamente um valor maior que “0” indica uma boa associação, quantos mais próximos destes extremos, será perfeita a associação.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P - \bar{P})(Z - \bar{Z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z - \bar{Z})^2}}$$

Equação (01)

$$R_{TRMM} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{TRMMi} - \overline{P_{TRMM}}) \cdot (P_{OBSi,j} - \overline{P_{OBSj}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{TRMMi} - \overline{P_{TRMM}})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_{OBSi,j} - \overline{P_{OBSj}})^2}},$$

Equação (02)

Onde para a equação do Coeficiente de Correlação, em que P_{TRMMi} é a precipitação do satélite TRMM no intervalo de tempo i , P_{OBSi} é a precipitação observada na estação pluviométrica do rio Oiapoque no intervalo de tempo i para uma estação j . Os valores entre a barra indicam a média dos valores (NÓBREGA, 2008). A mesma equação foi utilizada para a estação pluviométrica.

O índice de anomalia de chuva junto com a classificação da intensidade proposto por Rooy (1965) permite identificar períodos de seca e estações chuvosas em determinado recorte espacial.

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]$$

Equação para anomalias positivas e negativas respectivamente (03)

A partir dos valores encontrados, o regime de chuva foi classificado de acordo com a metodologia do IAC apresentada na Figura 23.

Figura 23: Classificação da pluviosidade segundo o IAC.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Classificação da Pluviosidade	
Maior que 4	Extremamente chuvoso	EC
Entre 2 e 4	Muito chuvoso	MC
Entre 0 e 2	Chuvoso	C
0	Nem chuvoso nem seco	
Entre 0 e -2	Seco	S
Entre -2 e -4	Muito seco	MS
Menor que -4	Extremamente seco	ES

Fonte: Araújo, 2009.

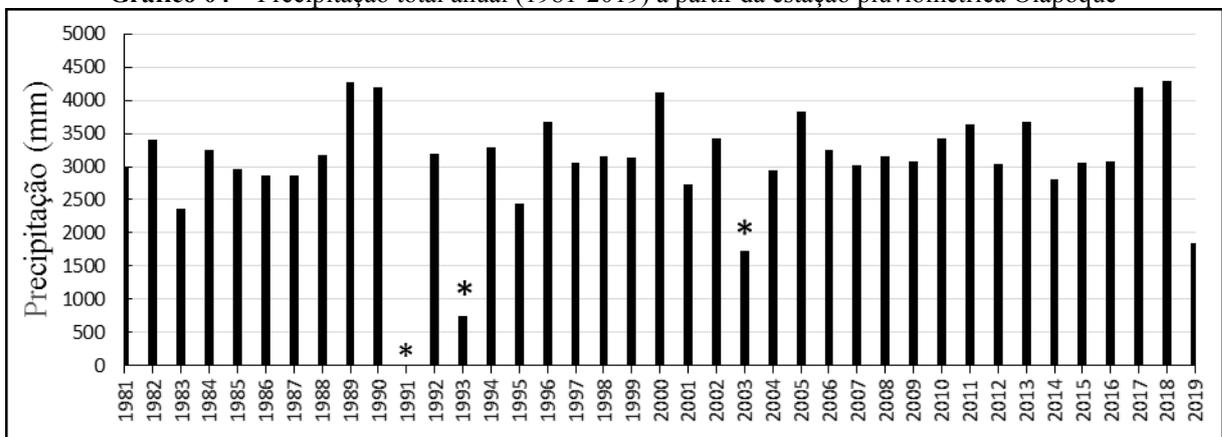
Por fim, as informações de precipitação e vazão podem ser analisadas com os parâmetros de influência da Zona de Convergência Intertropical, El Niño e La Niña.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E CORRELAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICAS, FLUVIOMÉTRICAS (1981 – 2019) DA BACIA DO RIO OIAPOQUE

A variabilidade do total anual da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque – BHRO, por meio da estação climatológica da Agência Nacional de Águas – ANA, demonstram que há uma variabilidade com períodos com maior volume de precipitação na bacia com média de 2.000 milímetros para o período de 1998 a 2019 (Gráfico 04).

Gráfico 04 – Precipitação total anual (1981-2019) a partir da estação pluviométrica Oiapoque



Fonte: ANA, 2020

* 1991 – Sem leitura de dados.

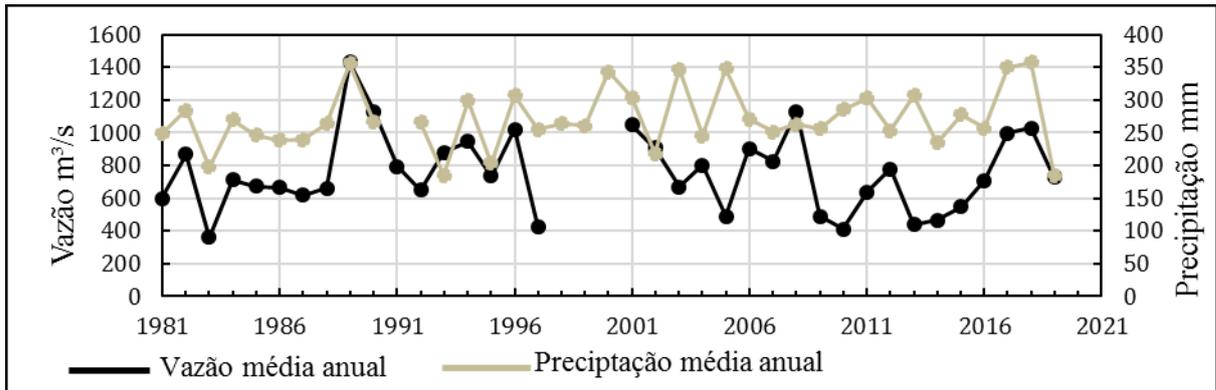
* 1993 – Medições apenas nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro.

* 2003 - Medições apenas nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio.

Dessa forma os anos que se destacam com maiores precipitações foram os anos de 1989 (4.274mm); 1990 (4.197mm); 2000 (4.112mm); 2017 (4.197mm) e 2018 (4.289mm) respectivamente, as menores variabilidade correspondem aos anos de 1983 (2.370mm); 1995 (2.444mm) e 2019 (1.853mm). Esses valores são considerados baixos para a realidade da região norte, dado as suas características climáticas.

Comparados com os valores do fluxo hídrico da bacia, observa-se uma condescendência, na medida que os volumes de precipitação aumentam o volume da água dentro do conjunto hídrico responde com aumento da vazão (Gráfico 05).

Gráfico 05 – Comparação da média anual dos dados de vazão e precipitação entre 1981-2019.

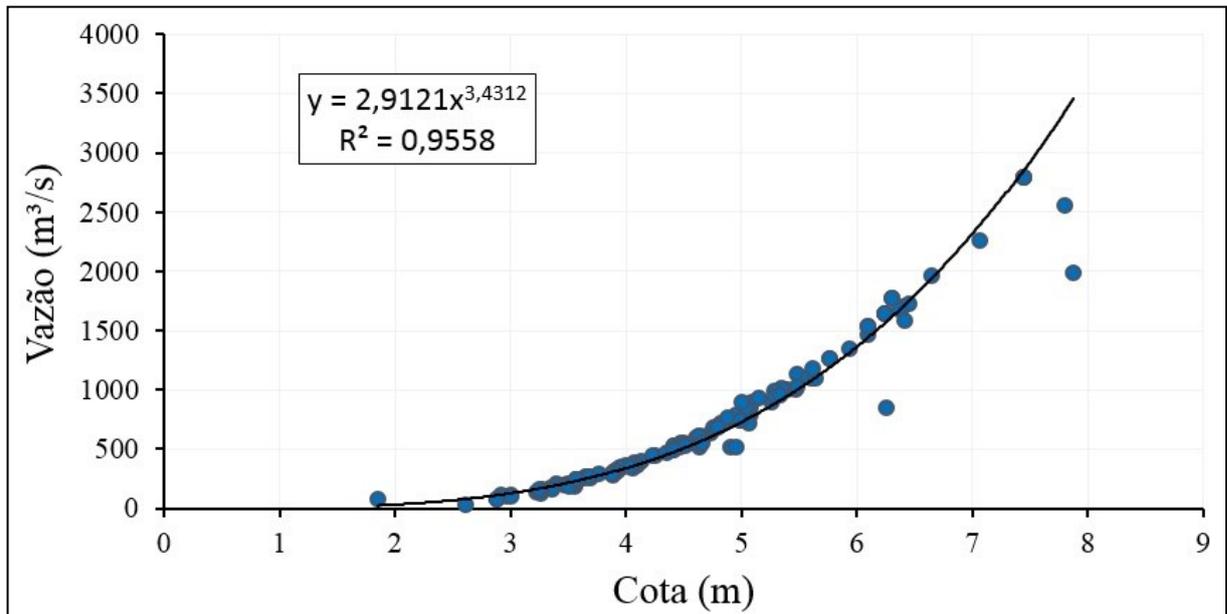


Fonte: Elaborado por MANCIO FILHO. Adaptado de ANA, 2020; DEAL GUYANA, 2015.

Os anos de 1983, 1997, 2005, 2010 e 2013 tiveram volumes de vazão muito abaixo da média expressada no gráfico 05, os fatores ligados a estes baixos valores podem estar ligados com eventos extremos do clima (SANTOS, 2006; REBOITA et al., 2010) visto que não existem barragens para esta bacia, onde estas influenciam diretamente no fluxo do rio. Em contrapartida observou-se valores elevados acima da média da vazão, 755 m³/s, para os anos 1989, cerca de 1.430 m³/s e 2008 com uma contribuição para o escoamento de 1.130 m³/s. Com isso, períodos de excesso de precipitação tendem a ser seguidos por períodos de escoamento acima da média (MARENGO et al., 1998), e as mudanças nos extremos de descarga estão relacionadas à variabilidade regional da chuva.

De fato, existe uma relação entre os volumes de entrada de precipitação e vazão, com o aumento da cota do rio Oiapoque. Conforme o gráfico 06, foram realizados o tratamento dos dados de cotas e vazão da estação do Cricou, localizada na bacia do rio Oiapoque. Afim de estabelecer uma análise estatística da relação cota/vazão para o rio, o gráfico 06 identifica a curva chave que foi gerada a partir de uma equação potencial, mais aderente para os estudos de vazão de um rio com valores bem ajustados.

Gráfico 06 – Curva chave, com serie de dados de 1983-2021. Estação do Cricou. Rio Oiapoque.

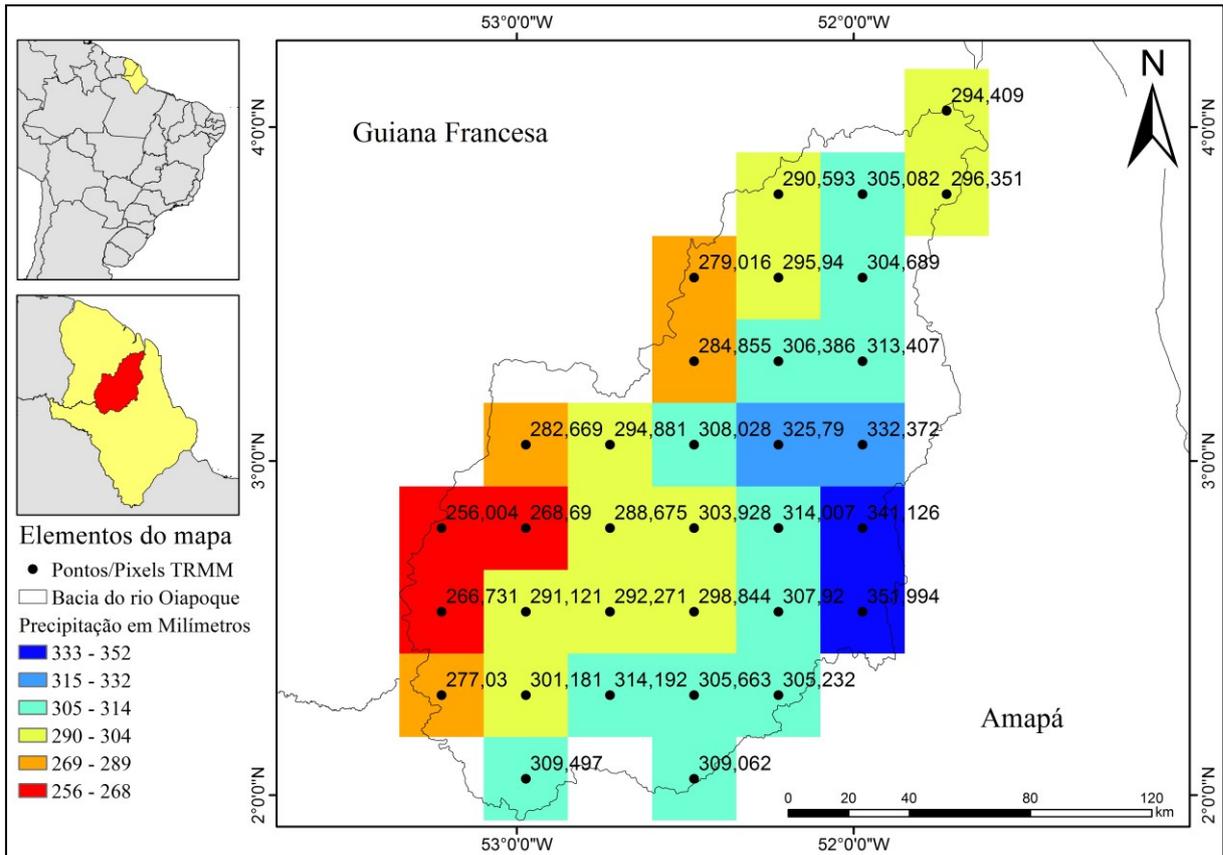


A equação apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9558, mostrando um elevado grau de determinação da interdependência das variantes, indicando que a relação vazão/cotas serão 95% dos valores do aumento de vazão dentro do sistema hídrico do rio estão relacionados com a elevação da lamina de água do rio.

6.1 ESPACIALIZAÇÃO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE TRMM (1998-2019) PARA A BACIA DO RIO OIAPOQUE

A partir da grade de pixel (no total de 34 pontos) do satélite TRMM, mostrada na figura 24, com valores correspondendo a precipitação, foi calculada a média de chuva em um intervalo de 21 anos (1998- 2019), obtendo a média de precipitação para cada mês e total anual dos anos referidos.

Figura 24: Delimitação da bacia hidrográfica do rio Oiapoque, grade de pixels do satélite TRMM com valores de precipitação.

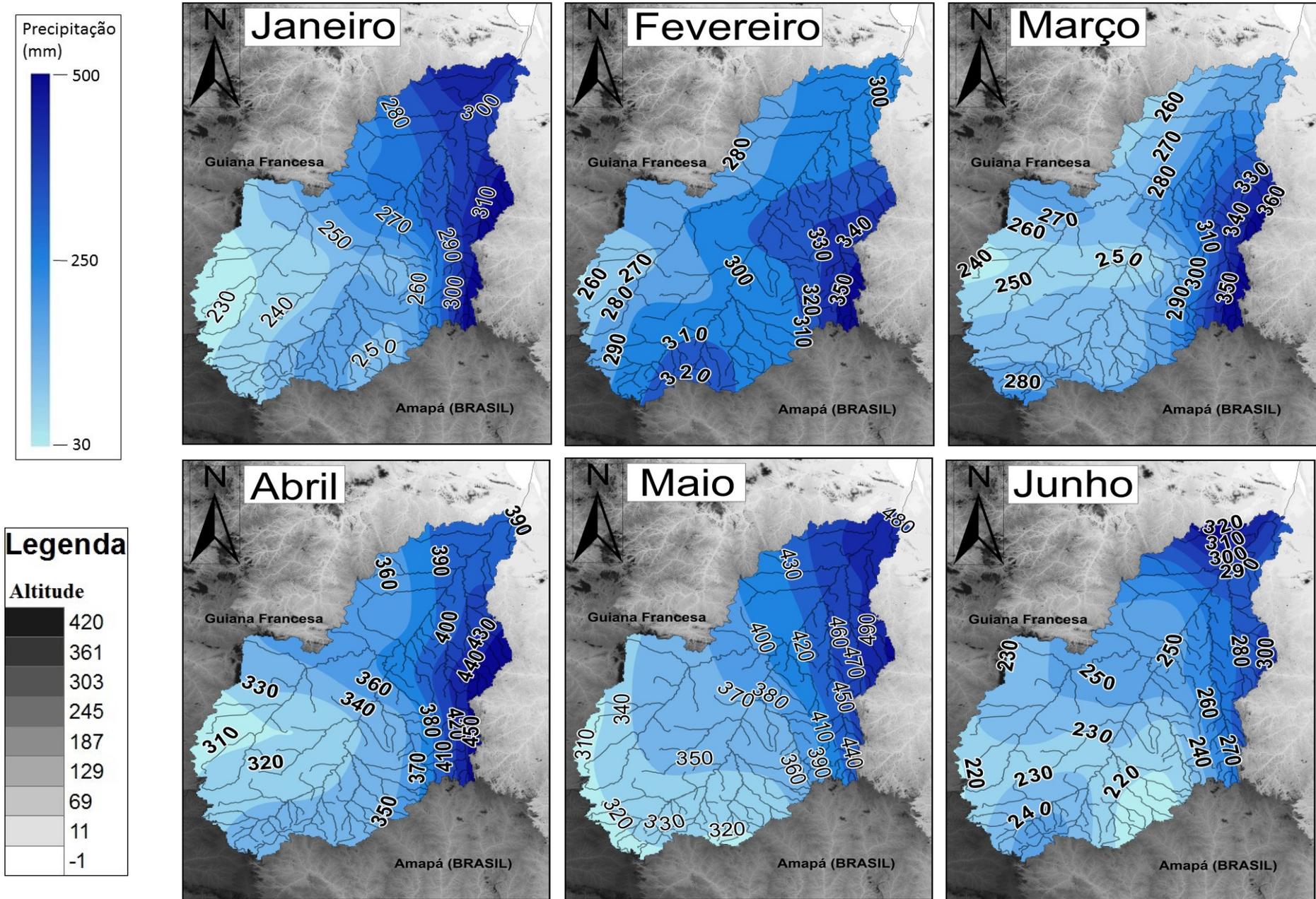


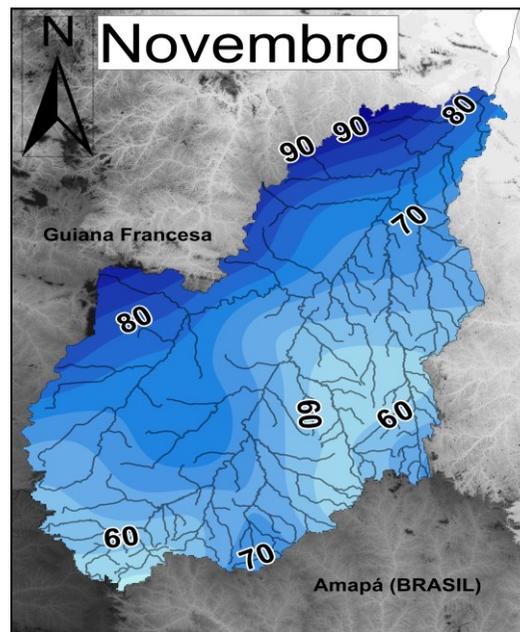
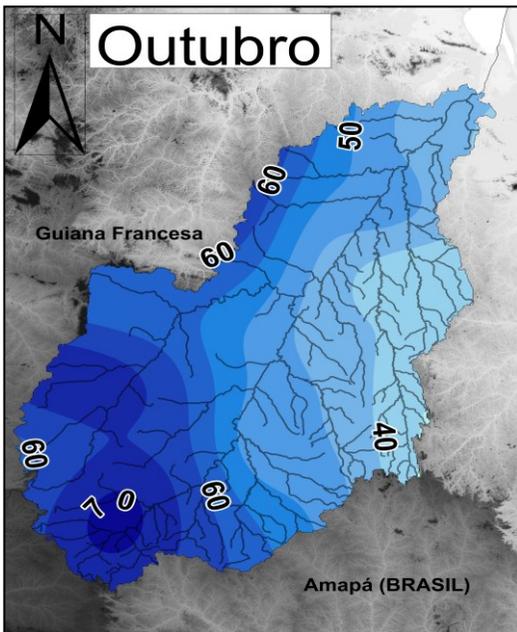
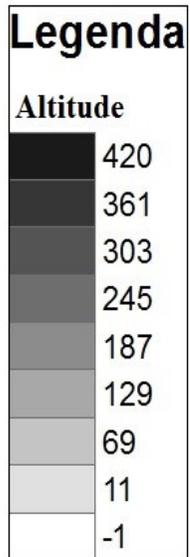
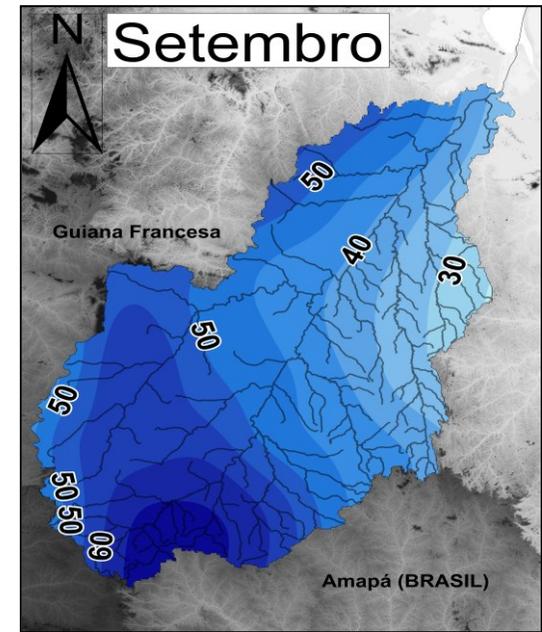
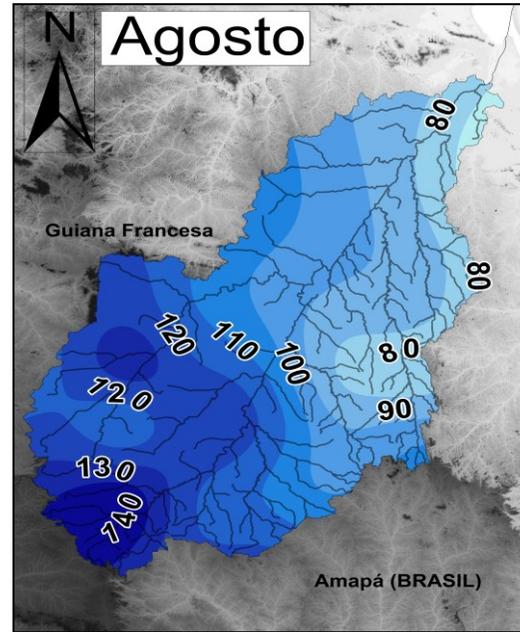
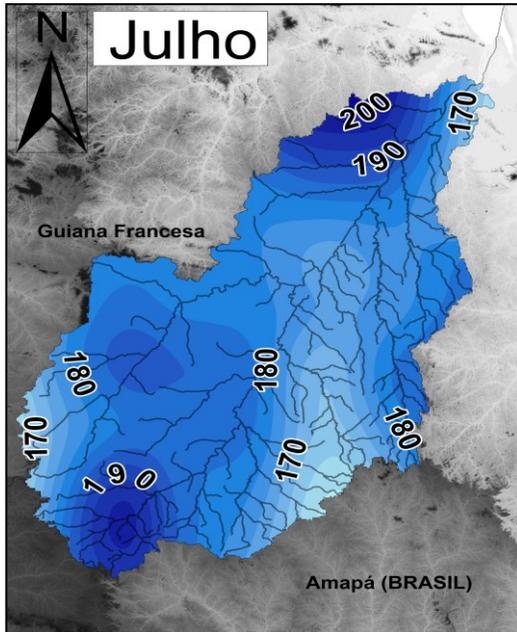
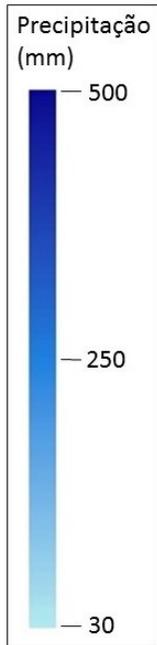
Fonte: IBGE, 2020; NASA, 2008

Os pixels resultantes do processamento da informação disponibilizada pelo satélite representam os volumes de chuva calculada pelo TRMM em forma de pixels e transformada em pontos, cada um possui um valor que corresponde ao valor de chuva medida pelo satélite. Esse tipo de valor de precipitação varia de 490 mm para os meses chuvosos e 30 mm em meses de estiagem para a série de 21 anos (1998 – 2019).

A variabilidade climática observada na região de estudo apresenta uma espacialização da precipitação variável tanto a montante quanto a jusante no curso do rio principal da bacia. Esta espacialização das precipitações médias obtidas do produto 3B43v7 do TRMM para o período de 1998 a 2019 para os 12 meses. Interpolando estes dados pelo método Spline permitiu observar o comportamento e o volume de chuva na área de estudo (Figura 25).

Figura 25: Composição de mapas de precipitação média mensal da Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque de 1998 a 2019. Satélite TRMM.



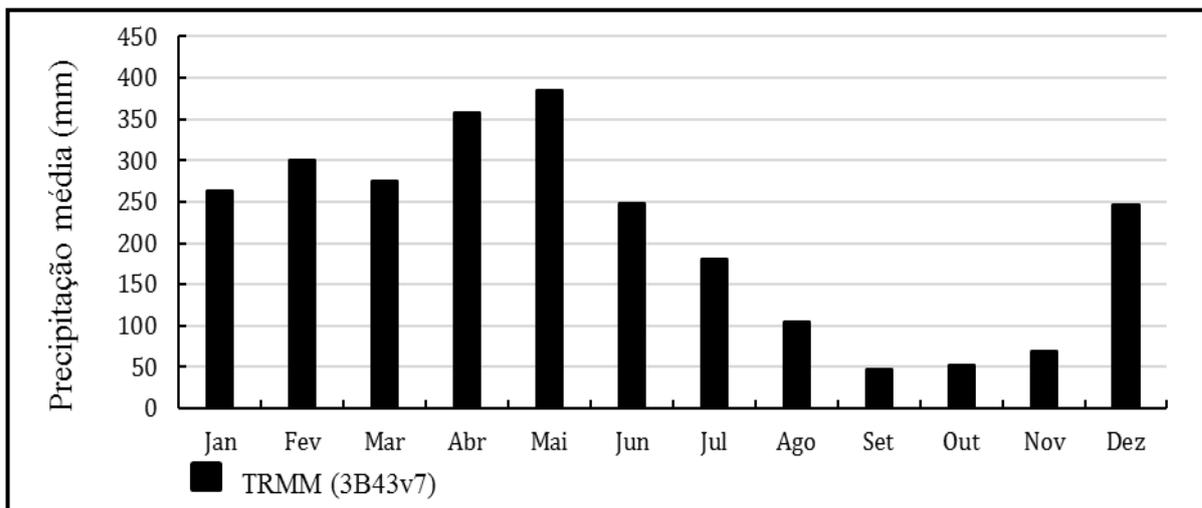


A representação da precipitação na bacia hidrográfica do rio Oiapoque permitiu observar que, além da variação interanual, ocorre um deslocamento espacial da chuva na área pesquisada. O período de abril e maio foram os mais chuvosos, concentrando os maiores volumes na porção leste da bacia, cerca de 450 mm. Nos meses de setembro e outubro, período mais seco que tem média 50 mm de chuva, as chuvas se deslocam para o sudoeste da bacia. Durante o ano fica evidente um padrão de deslocamento da quantidade de precipitação na bacia hidrográfica variando de leste, próximo ao litoral do estado do Amapá, para oeste adentrando o continente.

Mesmo com períodos com volumes de chuva em média de 50 mm, para estas regiões, a variabilidade interanual se mantém com altos níveis pluviométricos (REBOITA et al., 2012; NIMER, 1989; COHEN, 1989; De SOUZA & CUNHA, 2010), comparados com outras regiões do Brasil.

O gráfico 7 mostra o comportamento da precipitação ao longo dos meses. Os resultados obtidos dos dados mostraram a alta variabilidade na distribuição das precipitações interanual para a região durante o período proposto no trabalho. Esta variabilidade se expressa de forma evidente no referido gráfico, revela uma elevação do regime de precipitação nos meses de abril e maio, diminuindo ao longo dos meses de setembro e outubro, resultando em uma sazonalidade.

Gráfico 07 – Precipitação mensal média na Bacia do Rio Oiapoque para os anos de 1998 até 2019 do satélite TRMM.



Fonte: MANCIO FILHO, 2021

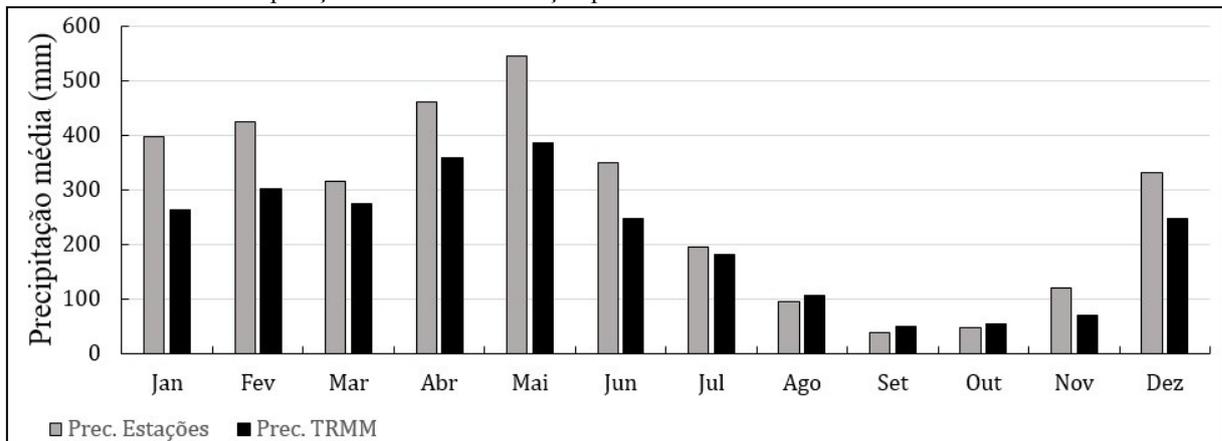
O comportamento da precipitação mensal para a bacia do rio Oiapoque, o TRMM estima para os meses de abril e maio maiores volumes de chuvas para a bacia, cerca de 384 mm, os meses de setembro e outubro são meses de menores volumes de precipitação, 47 mm. Com isso o produto 3B43v7 estimou corretamente a alternância entre meses chuvosos e de estiagem, características da região do rio Oiapoque. Resultados que corroboram com os estudos já realizados na região Amazônica utilizando o satélite TRMM (LEIVAS et al., 2009; NEVES, 2012; NÓBREGA et al., 2008; PAIVA et al., 2011). Quando Leivas et al. (2009), estudou a precipitação do satélite TRMM e as estações pluviométricas de Manaus, concluiu que existe uma boa correlação, as estimativas são próximas dos dados em superfície e representam bem a diferenciação entre a estação seca e chuvosa na área de estudo. Nóbrega et al. (2008), estudando a bacia hidrográfica do rio Jamari no estado de Rondônia, observou que as estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM são consistentes, conseguindo reproduzir com significância estatística a distribuição de chuvas da bacia. Notou também que as variações sazonais da chuva são bem representadas.

Nesta etapa dos resultados o objetivo primeiramente é expor o volume de precipitação dentro da bacia hidrográfica e se os valores correspondem a sazonalidade da chuva aplicando o método de extração dos dados do TRMM, quantificando essa informação em modelo estatístico, gerando um gráfico de precipitação.

6.2 CONEXÕES E CORRELAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO= EVENTOS EXTREMOS (ZCIT, EL NINÕ E LA NINÃ) =VAZÃO

Utilizando os dados do satélite TRMM e da estação pluviométrica, observa-se que existe uma boa correspondência de valores expressadas no gráfico 08, definindo para ambos os dados a sazonalidade da precipitação na BHRO, uma relação de 94% de interdependência das duas variáveis segundo o gráfico 08 de correlação.

Contudo os dados de observação da estação pluviométrica existente na área de estudo têm medições que datam desde 1981 até 2019, as informações fornecidas pelo satélite TRMM fornecem medições a partir de 1998, ano em que começou a transmitir os dados. Para isso foi feito um recorte temporal para tal comparação obtendo as médias mensais deste intervalo temporal.

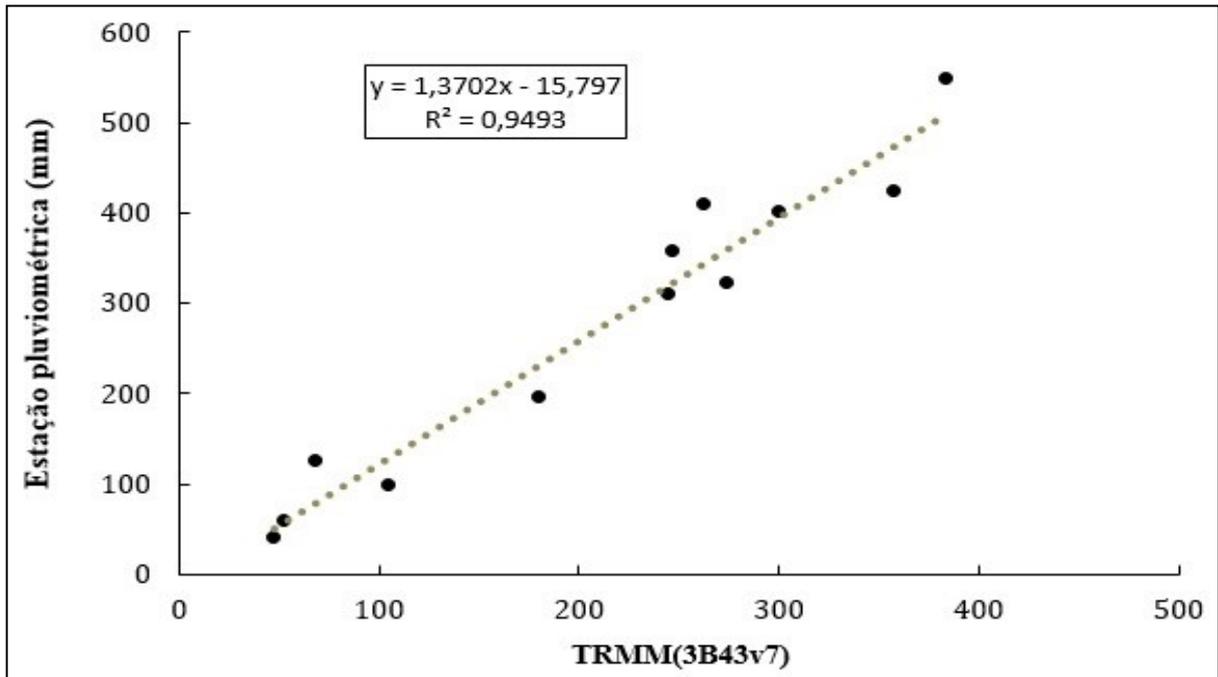
Gráfico 08 – Comparação dos dados da estação pluviométrica e do satélite TRMM de 1998 até 2019.

Os dados de precipitação da estação Oiapoque tende a superestimar e outros meses de chuva sub-estimar como mostra o gráfico 08. Observa-se também que o dado do TRMM teve uma correlação de 0,94% em relação a precipitação medida pela estação (gráfico 09), apesar de evidenciar volumes médios menores durante a série temporal, no total da soma dos meses o volume de chuva medidos na estação meteorológica foi de 3.314 mm, com 2.531 aferido pelo satélite TRMM, uma diferença de 783 mm. Esse fato pode ser explicado pela razão da variabilidade espacial da chuva, visto que a estação obtém valores pontuais, já o satélite coleta informações em uma área de maior abrangência.

Para verificar a interação entre as duas variáveis climáticas, ambas foram correlacionadas como mostra o gráfico 09. O dado expressa que os volumes de precipitação da estação aumentam no decorrer dos meses, acompanhando as medições calculadas pelo sensor do TRMM que correspondem ao aumento. Mesma conclusão de Adeyewa e Nakamura (2003) em trabalho sobre as principais regiões da África. Na pesquisa dos autores foram utilizado dados de precipitação global do Global Precipitation Climatology Center - GPCC para validar os dados do radar de precipitação (PR) da Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sobre as principais regiões da África.

O coeficiente de correlação (gráfico 09) mostra que existe uma correlação positiva forte entre os dados da estação e do TRMM. Isso quer dizer que os dados calculados da precipitação média de ambas as variáveis para a bacia hidrográfica, indicam um viés significativo.

Gráfico 09 – Correlação dos dados da estação pluviométrica de Oiapoque (ANA) com o satélite TRMM.

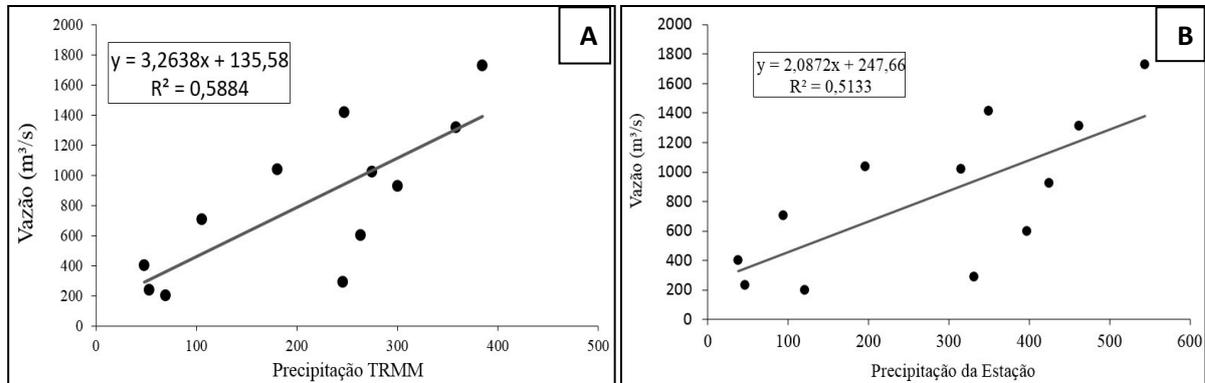


A influência da ZCIT é marcante principalmente em anos chuvosos, a exemplo de 1989 (356mm); 2000 (343mm); 2003 (347mm); 2005 (348mm); 2017 (350mm) e 2018 (357mm) respectivamente como pode-se observar no gráfico 09.

A Zona de Convergência Intertropical, são áreas de chuvas formadas a partir do encontro dos ventos alísios que sopram na faixa equatorial do globo (WANG, 1994). As áreas de instabilidade da ZCIT influenciam toda a bacia hidrográfica tendo em vista que ela se desloca no sentido norte-sul ao longo da zona equatorial, sua mancha tem uma duração variável, esse deslocamento tem relação com o regime de chuvas na área de estudo, durante o mês de abril a sua posição é próxima de 1°N em relação a linha do equador, posição geográfica equivalente a localização da área de estudo (ver mapa de localização da bacia).

A análise de correlação entre os dados do satélite TRMM do produto 3B43 v7, da estação meteorológica com a médias da vazão mostraram resultados quase similares do coeficiente de correlação (R^2), Gráfico 10.

Gráfico 10 - Linha de tendência e correlação entre as médias mensais de precipitação do TRMM, da estação pluviométrica e médias mensais da vazão.



A associação da situação “A” do gráfico mostra que existe uma correlação de 58% em que a vazão depende da precipitação do satélite TRMM, quando os volumes de precipitação aumentam a vazão do rio tende a aumentar. Na situação “B”, existe uma correlação de 51% entre a precipitação da estação pluviométrica com a aumento da vazão.

Foram analisadas três variáveis (precipitação TRMM, precipitação observada na estação e vazão) e calculados o Coeficiente de Correlação de acordo com a equação (02) (NÓBREGA et al., 2008), onde a correlação varia de -1 a 1, um valor de 0 indica que não há correlação entre as variáveis, inversamente um valor maior que “0” indica uma boa associação, quantos mais próximos destes extremos, será perfeita a associação. Com isso ambos cálculos mostraram ter uma boa correlação das variantes.

A BHRO recebe impactos dos eventos El Niño e La Niña, nos anos que ocorreram, a região presenciou períodos de estiagem e elevadas descargas de chuvas. Quando o El Niño ocorre observa-se um período de estiagem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Quando a região está sob influência do La Niña o cenário muda para períodos chuvosos os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. O quadro (04) a seguir mostra os anos que ocorreram os eventos ENSO e sua intensidade para o período estudado neste trabalho (1981 – 2019).

Quadro 04 - Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.

Ocorrência do El Niño			Ocorrência do La Niña		
1982-1983			1983-1984		
			1984-1985		
1986-1988			1988-1989		
1990-1993					
1994-1995			1995-1996		
1997-1998			1998-2001		
2002-2003					
2004-2005			2006		
2009-2010			2007-2008		
2015-2016			2010-2011		
			2017-2018		
Forte	Moderado	Fraco	Forte	Moderado	Fraco

Fonte: Adaptado de: www.cpc.ncep.noaa.gov e <http://www.cptec.inpe.br/enos/>.

A partir do quadro 04 foram selecionados os anos e a intensidade para cada evento e relacionados aos dados de vazão e precipitação ocorridos na BHRO para entender como se deu a variabilidade e influência dos eventos El Niño e La Niña (quadro 05).

Quadro 05 – Ocorrência dos fenômenos ENOS relacionado a precipitação e vazão média anual.

El Niño				La Niña			
Ano	Intensidade	Preci. média	Vazão m ³ /s	Ano	Intensidade	Preci. média	Vazão m ³ /s
1983	Forte	198 mm	361	1989	Forte	356 mm	1430
1995	Moderado	204 mm	734	1996	Moderado	307 mm	1020
1997	Forte	255 mm	427	2001	Moderado	304 mm	1050
2002	Moderado	285 mm	907*	2008	Moderado	363 mm	1130
2015	Forte	278 mm	547	2018	Moderado	357 mm	1030
2016	Forte	257 mm	708*				

* teoricamente mesmo com a atuação do El Niño a vazão se mostrou acima da média anual 755 m³/s.

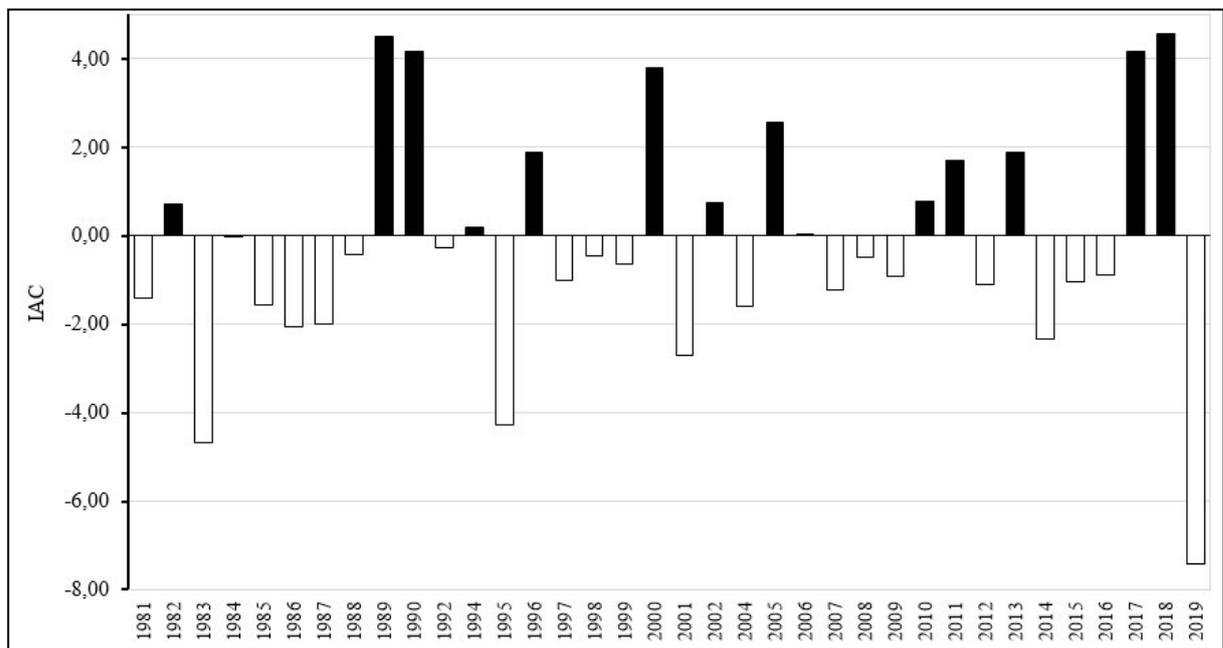
Fonte: MANCIO FILHO, 2021.

O El Niño quando atua no Norte do Brasil, provoca baixos índices de precipitações e temperaturas definidas em termos seco e quente de junho a agosto. Os resultados mostram que ano de 1983 quando a intensidade foi classificada como forte o volume de vazão dentro da bacia foi o mais baixo, cerca de 361 m³/s, dentro dos anos de ocorrência do fenômeno. Nos anos de 2002 e 2016 foram classificados como moderado e forte respectivamente, contudo a vazão dentro da bacia foi acima da média para os anos de El Niño.

Nos anos de ocorrência do La Niña os valores de precipitação são nitidamente elevados em relação a situação do El Niño. Os impactos do La Niña na vazão mostram que o ano de 1989 classificado como forte, o volume de água dentro da bacia teve um aumento significativo em relação aos outros anos de atuação do fenômeno.

Para expor os efeitos que esses fenômenos trazem para a região de estudo utilizamos o Índice de Anomalia de Chuva – IAC, que permitiu identificar mudanças nos padrões de chuva dentro da bacia hidrográfica do rio Oiapoque de uma serie temporal de 1981 até 2019 (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Índice de Anomalia de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque.



Fonte: MANCIO FILHO, 2021.

A partir do cálculo proposto por Rooy (1965) é possível determinar os períodos secos e extremamente chuvosos na BHRO. Nos anos de 1983, 1995 e 2019 observou-se que o valor da anomalia negativa ficou acima de -4,0, evidenciando um período extremamente seco, nos anos de 1986, 2002 e 2014 foram anos muito seco. Os anos classificados como extremamente secos (1983, 1995, 2001 e 2014) tiveram influência do El Niño, que nestes anos tiveram intensidade de forte a moderado.

Os anos de 1989, 2017 e 2018 foram classificados como extremamente úmidos, os anos de 2001 e 2005 como muito úmido. Comparando os anos de ocorrência do fenômeno La Niña (quadro 04) verificou-se que os anos classificados como extremamente úmido (1989,

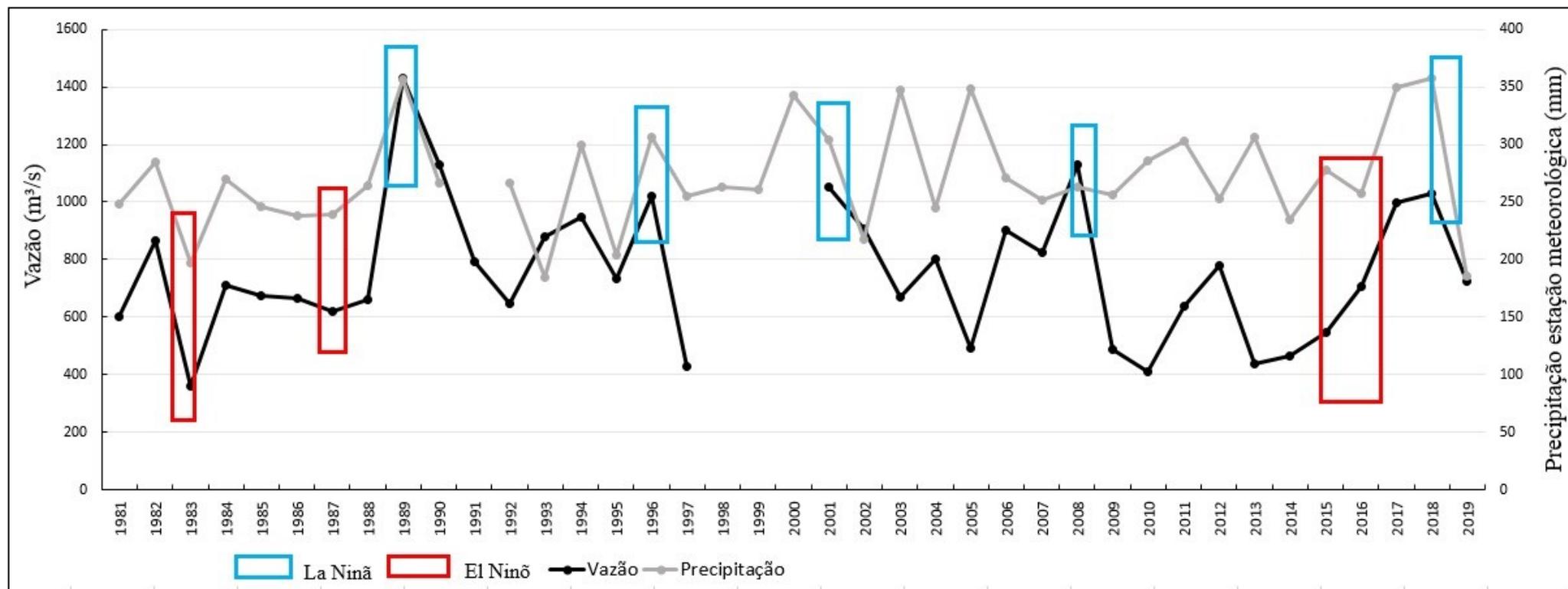
2017 e 2018) e muito úmido (2001) estavam sob influência deste fenômeno que ocorreu em uma intensidade de forte a moderada.

Após uma análise temporal do IAC para a BHRO observou-se que existe uma variabilidade entre as anomalias de precipitação. Entre os anos de 1983 até 1988 os valores são negativos seguida por dois anos de precipitação positiva. A partir do ano de 1997 as anomalias de chuva seguem negativas por mais dois anos, alternando entre chuvas positivas e negativas até o ano de 2007, quando em 2010 o ano é classificado como úmido, seguido por mais três anos com índices negativos de chuva.

Em média a variabilidade climática na bacia hidrográfica do rio Oiapoque tem mais anos de anomalias de chuvas negativas em toda a série temporal analisada. Existe uma alternância em média de 3 a 4 com IAC negativas e 2 anos positivas. Com isso os dados mostram que a variabilidade da chuva na bacia hidrográfica do rio Oiapoque segue uma alternância no índice de anomalia de chuva e tem relação com os eventos extremos El Niño e La Niña.

Para expor a relação da precipitação, vazão e eventos extremos o gráfico 12 mostra que dentro do recorte temporal da pesquisa ocorreram oito eventos extremos, com predominância do fenômeno La Niña, apesar das análises do índice de anomalia apontarem uma maior quantidade de anos mais secos. O gráfico indicou que houve uma resposta do aumento e diminuição da vazão de acordo com o volume de chuva dentro da área da bacia hidrográfica.

Gráfico 12 – Destaque para os anos de ocorrência do El Niño e La Niña comparados com dados de vazão e precipitação média anual da estação pluviométrica.



Fonte: MANCIO FILHO, 2021. Adaptado a partir da ANA, 2020; DEAL GUYANE, 2015; NASA, 2008; NOAA, 2019.

Os efeitos associados ao El Niño e La Niña mostram uma variabilidade na precipitação e vazão dentro da BHRO, indicam uma relação entre os fenômenos e as variantes (precipitação/vazão).

Portanto os impactos do La Niña na BHRO acarretam em aumento dos volumes da chuva e vazão, quando a bacia esteve sob influência do fenômeno, houve elevadas precipitações, destaque para o ano de 1989, alcançando valores muito elevados. No período de 1981 até 2019, houve a ocorrência cinco La Niña alternados entre condições moderadas e fortes. O El Niño diminuiu os volumes de precipitação e vazão nos seus anos de ocorrência, alternados entre moderado e forte, com anos muito e extremamente secos como mostra o gráfico 11 de anomalia de precipitação da BHRO.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade do total anual da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Oiapoque – BHRO, por meio da estação climatológica para o período de 1981 a 2019 mostrou que os períodos com maior volume de precipitação na bacia foram os anos 1989, 1990, 2000, 2017 e 2018, com médias superiores aos 4.000 mm de chuva. As menores variabilidade correspondem aos anos de 1983 (2.370mm); 1995 (2.444mm) e 2019 (1.853mm).

Comparando os valores do fluxo hídrico da bacia, observaram-se uma condescendência, na medida que os volumes de precipitação aumentam o volume da água dentro do conjunto hídrico responde com aumento da cota e vazão.

Com isso, períodos de excesso de precipitação tendem a ser seguidos por períodos de escoamento acima da média (MARENGO et al., 1998), e as mudanças nos extremos de descarga estão relacionadas à variabilidade regional da chuva.

A análise multitemporal da variabilidade climática fornecidas pelo produto 3B34v7 utilizando o sensor PR, forneceu um parâmetro da espacialização das chuvas, para o período de 1998 até 2019, bem satisfatório mostrando como os volumes de precipitação se comportam ao longo dos anos na BHRO.

A variabilidade climática observada na região de estudo apresentou uma espacialização da precipitação variável tanto a montante quanto a jusante no curso principal da bacia.

A representação permitiu observar que, além da variação interanual, com destaque para os meses chuvosos de abril e maio e os meses de setembro e outubro (estiagem), ocorre um deslocamento espacial da chuva na área pesquisada, concentrando os maiores volumes de chuva média na porção leste da bacia, cerca de 450 mm. Nos meses de setembro e outubro, período mais seco que tem média 50 mm de chuva, se deslocam para o sudoeste da bacia. Durante o ano ficou evidente um padrão de deslocamento da quantidade de precipitação na bacia hidrográfica variando de leste, próximo ao litoral do estado do Amapá, para oeste adentrando ao continente. Os valores de precipitação fornecidas pelo produto 3B43v7 consegue reproduzir com fidelidade os regimes de chuva da BHRO.

A precipitação do algoritmo 3B43v7 do satélite TRMM comparado as medições em superfície, levando em consideração o recorte temporal de 1998 a 2019, concluiu-se que possuem boa concordância. Quando correlacionados estatisticamente as duas variáveis possuem um coeficiente positivo de 94%. Elas conseguem reproduzir a sazonalidade de ambos os dados estudados.

A análise de correlação entre os dados do satélite TRMM do produto 3B43 v7, da estação meteorológica com a médias da vazão mostraram resultados positivos cerca de 51% do coeficiente de correlação (R^2).

As medições de precipitação e vazão estão ligadas ao deslocamento da ZCIT e os fenômenos do El Niño e La Niña. As vazões estão associadas com os eventos atmosféricos e comportamento dos elementos do clima vigentes na costa amazônica, tais como a ZCIT, características da temperatura e direção dos ventos e precipitação, por outro lado os anos com maior variabilidade climática apresentam fortes relações com os eventos de El Niño e La Niña. Estes resultados mostram o papel dessas forçantes para a precipitação na área da bacia assim influenciando o fluxo hídrico.

A variabilidade do clima na BHRO apresentou anomalias positivas e negativas, utilizamos o Índice de Anomalia de Chuva – IAC, que permitiu identificar mudanças nos padrões de chuva dentro da bacia hidrográfica do rio Oiapoque existindo anos extremamente chuvosos e secos com alternância de três anos em média entre anomalias positivas e negativas de precipitação. Estes anos estiveram sob influência do El Niño e La Niña.

Em síntese, os resultados mostrados neste trabalho definem a contribuição destes eventos extremos na determinação da variabilidade climática e nos padrões fluviométricos sobre a bacia do rio Oiapoque.

Por fim, uma vantagem adicional das estimativas de precipitação por satélite é o preenchimento de lacunas em áreas onde as estações pluviométricas são poucas, deixando grandes áreas sem dados pluviométricos. Esta realidade é notável na região amazônica, dado a sua extensão territorial e características ambientais e de ocupação que ratificou a implantação, em sua grande maioria, de aparelhos próximos a núcleos urbanos, tendo uma distribuição desigual de estações pluviométricas na região.

Com isso o entendimento dos elementos de entrada líquida no fluxo hídrico de uma bacia hidrográfica é muito importante, devido ao fato deste conhecimento auxiliar no planejamento para gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ACKER, J. G. and LEPTOUKH, G. “Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data”, *Eos, Trans. AGU*, Vol. 88, No. 2 (9 January 2007), pages 14 and 17.

ADEYEWA. Z. Debo; NAKAMURA, K. Validation of TRMM radar rainfall data over major climatic regions in Africa. *Journal of Applied Meteorology*. V. 42. Ed. 2. P. 331-347. 2003.

ADLER, R.F., G.J. HUFFMAN, A. CHANG, R. FERRARO, P. XIE, J. JANOWIAK, B. RUDOLF, U. SCHNEIDER, S. CURTIS, D. BOLVIN, A. GRUBER, J. SUSSKIND, P. ARKIN, E.J. NELKIN, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, 4(6), 1147-1167.

ADLER, R. F, G. J. HUFFMAN, D. T. BOLVIN, S. CURTIS, and E. J. NELKIN, 2000: Tropical rainfall distributions determined using TRMM combined with other satellite and rain gauge information. *J. Appl. Meteor.*, 39, 2007–2023.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Região Hidrográfica Amazônica. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: 19/08/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Estimativas de precipitação da estação Pluviométrica do Oiapoque. 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>. Acesso em: 19/08/2020.

AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Plano nacional de integração hidroviária. 2013.

AUGUSTINUS, P. G. E. F; HAZELHOFF, L. KROON, A. The chenier coast of Suriname: Modern and geological development. *MAR GEL*. Volume 90, Issue 4, 30 December 1989, Pages 269-281. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0025322789901291>. Acesso em: 06/10/2020.

ALLISON, M.A; NITTROUER, C.A; KINEKE, G.C; STERNBERG, R.W. (1994) Use of an instrumented tripod system to examine sediment dynamics and fine-scale strata formation in muddy surfzone and nearshore environments. *J Coast Res* 10:488–496.

ALMEIDA, C. T; DELGADO, R. C; OLIVEIRA, J. F. jr; GOIS, G; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas.

Floresta e Ambiente 2015; 22(3): 279-286. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.112114>.

ALMEIDA, C. S; RAUBER, A. L. Oiapoque, aqui começa o Brasil: a fronteira em construção e os desafios do Desenvolvimento Regional. Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, janeiro-abril, 2017.

ANGELIS, C. F.: Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrados de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos-PRECIBRA. Projeto de Pesquisa. CPTEC-INPE, 2006.

ARAÚJO, L. E., Moraes Neto, J. M., & Sousa F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba – Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Revista de Engenharia Ambiental, 6(3), 508-523. 2009.

AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; OSAWA, T.; MAHENDRA, M. S. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. International Journal of Remote Sensing, v.34, n.21, p. 7723–7738. 2013.

AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; PRASETIA, R.; SWARDIKA, I. K.; KASA, I. W. Comparison of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products and dailymonthly gauge data over Bali. International Journal of Remote Sensing, v. 32:24, p. 8969-8982, 2011.

ANAGNOSTOU, E. N.; MORALES, C. A.; DINKU, T. The use of TRMM precipitation radar observations in determining ground radar calibration biases, Journal Atmospheric Oceanic Technology, v. 18, p. 616-628, 2001.

ANTHONY, E. J.; GARDEL, A. and GRATIOT, Nicolas. Fluvial sediment supply, mud banks, cheniers and the morphodynamics of the coast of South America between the Amazon and Orinoco river mouths. Geological Society, London, Special Publications, first published. September 2, 2013; DOI 10.1144/SP388.8.

AYOADE, J. O. Introdução a climatologia para os trópicos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

BARRY, R. G e CHORLEY, R. J. Atmosphere, weather and climate. 3ª ed., Londres, Methuen, 1976.

BARRY, G. R.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, Tempo e Clima. 9 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, , 2013.

BEAUDOUIN, Morgane; RIEUBLANC, Eve; BOYER, Sandie (Coord.). *Guiana Francesa – Amapá: Melhor estruturar os territórios para intensificar os intercâmbios*. Tradução R. Laurent. Sage: Guyama280, 2011.

BENTO SILVA, Mayane; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabricio Quadros. GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS COMO POLÍTICA DE GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS NO BRASIL Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria, vol. 10, núm. 1, enero -marzo, 2017, pp. 101-115 Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil.

BORDAS, M.P.; SEMMELMANN, F.R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: UFGS; São Paulo: USP/ABRH, 1993. p.915-43.

BOAVENTURA, F. M. C ; NARITA, C. Geomorfologia da Folha NA/NB-22-Macapá. In:PROJETO RADAM. Folha NA/NB-22-Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro : DNPM, 1974. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.6).

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BUGNICOURT, Pierre; GUITET, Stéphane; SANTOS, Valdenira; BLANC, Lilian; SOTTA, Eleneide; BARBIER, Nicolas; COUTERON, Pierre. (2018). Using textural analysis for regional landform and landscape mapping, Eastern Guiana Shield. *Geomorphology*. 317. 10.1016/j.geomorph.2018.03.017.

CARVALHO, M. A. V; OYAMA, M. D. Variabilidade da largura e intensidade da zona de convergência intertropical atlântica: aspectos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.3, 305 - 316, 2013.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, J.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A; SILVA DIAS, M.A.F. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

CITEAU, J; BERGDS, J.C; DCMARCQ, H. And.MAHÉ, G. The Watch of ITCZ Migrations over the Tropical Atlantic Ocean as an Indicator in Drought Forecast over the Sahelian Area. *Centre de Recherches Océanographiques* - 1988.

CPTEC/INPE.2016. El Niño e La Niña.Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/enos/>>. Acesso em: 17/09/2020.

CPTEC/INPE. 2021. Previsão numérica. Umidade relativa. Disponível em: <https://previsaonumerica.cptec.inpe.br/novo/meteograma/wrf/ap/oiapoque>. Acesso em 22/03/2021.

COHEN, J. C. P. Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE. Orientada por Pedro Leite da S. Dias, aprovada em fevereiro de 1989.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução n° 32 de 15 de outubro de 2003 – Institui a divisão hidrográfica nacional. Brasília (DF), 2003.

COLLISCHONN, B. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior. Revista Brasileira de Cartografia. v. 59, n.1, p. 93-99, abril de 2007.

COUNCIL, N. R. Assessment of the Benefits of Extending the Tropical Rainfall Measuring Mission: A Perspective from the Research and Operations Communities, Interim Report. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.

COCCOSSIS, H. Integrated Coastal Management and River Basin Management. Water, Air, & Soil Pollution: Focus 4, 411–419 (2004). Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000044814.44438.81>. Acesso: 13/05/2020.

CRAIG M. RISIEN, DUDLEY B. CHELTON, A satellite-derived climatology of global ocean winds, Remote Sensing of Environment, Volume 105, Issue 3, 2006, Pages 221-236, ISSN 00344257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.017>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706002537>).

DERECZYNSKI, CP, MENEZES, WF 2015. Meteorologia da Bacia de Campos. Eun: Martins, r.P., Grossmann-Matheson, G.s., editores. Meteorologia e oceanografia. Rio de Janeiro: Elsevier. Habitats, v. 2. p. 1-54.

De SOUZA, E.B.; CUNHA, A.C. Climatologia de Precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, Alan Cavalcanti da; De SOUZA, Everaldo Barreiros, CUNHA, Helenilza Ferreira Albuquerque (coord.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do projeto REMETAP no estado do Amapá. Macapá: IEPA, 2010. p.177-195.

DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, M.; CONNOR, S.; ROPELEWSKI, C. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 1503-1526, 2007.

DUARTE, Cristiana Coutinho. Análise dos impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá-PE, a partir da utilização de um modelo de balanço hídrico mensal semidistribuído/ Cristiana Coutinho Duarte. – Recife: O Autor, 2009. 124 folhas : il., fig., tab. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2009.

DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON Olivier; SANT'ANNA NETO João Lima. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. 2018, mis en ligne le 11 octobre 2018, consulté le 06 Mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/confins/15738> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.15738>.

EUMETSAT, European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites. *Meteosat Series*. Disponível em: <https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series>. Acesso: 12/05/2020.

FEIDAS, H. Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and applied climatology*, v. 99, p. 193 -216, 2010.

FERREIRA, D. B. S. Eventos extremos da zona de convergência intertropical sobre o atlântico durante o período chuvoso da Amazônia oriental. Dissertação de mestrado. Programa de pós – Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará/ Programa de pós – Graduação em Ciências Ambientais. Belém. P. 19, 22, 2008.

FINKLER, R. Planejamento, manejo e gestão de bacias. Unidade 1 - A Bacia Hidrográfica. Disponível:2014.https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf. Acesso em 19 de maio de 2020.

FURUKAWA, K. Report of the Ishigaki/Miyako Campaign Experiment for TRMM (IMCET), 1998. Disponível em: < http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/incet98/index_e.htm >. Acesso em: 11 abr.2006.

FRANCO et al. Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. *Ciência e Natura*, v. 37 Ed. Especial SIC, 2015, p.104 – 109.

FINKLER, Raquel. A bacia hidrográfica. Curso: Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias. Agência Nacional das Águas. 2014/2. Disponível em: http://https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2560/1/Unidade_1.pdf.

GRANGER, R. J. Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. *Journal of Hydrology*, v.229, p.70-76. 2000.

GUITET, S., CORNU, J-F., BRUNAU, O., BETBEDER, J., CAROZZA, J-M., RICHARD-HANSEN C., 2013. Landform and 739 landscape mapping, French Guiana (South America). *Journal of Maps* 9(3), 325-335.

HUFFMAN, George J. PENDERGRASS, Angeline. The climate data guide: TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission. National Center for Atmospheric Research Staf. 2018. Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/trmm-tropical>.

HUFFMAN, G. J; ADLER, R. F; BOLVIN, D. T; GU, G; NELKIN, E. J; BOWMAN, K. P; HONG, Y; STOCKER, E. F; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of hydrometeorology*. v8. 2007.

IGUCHI, T; KOZU, T; MENEGHINI,R; AWAKA, J; OKAMOTO, K. 2000. Rain-profiling algorithm for the TRMM precipitation radar *J. Appl. Meteor.* 39 2038 2052.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. O Rio Oiapoque. 1964.

_____. Mapa de climas do Brasil - escala 1: 5.000.000. 1973.

_____. Mapa Brasil climas - escala 1: 5.000.000. 1978, com adaptações.

_____. Mapa de climas do Brasil - escala 1: 5.000.000. 2002.

_____. Manual técnico de vegetação brasileira. 2012.

_____. Estimativa populacional. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Dados de temperatura e umidade relativa. Disponível em <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 20/03/2020.

INSEE – Institut National de la Statistique et des Études Économique. «Guyane» Disponível em <<http://www.insee.fr/fr/regions/guyane/>> Acesso em 27 jan. 2020.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KAYANO, M.T.; MOURA, A.D. O El-Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Geofísica*, 4(1-2): 201 - 214, 1986.

KIDDER, S. Q; HAAR, T. H. V. *Satellite meteorology: an Introduction*. San Diego: Academic Press; 1995.

KUMMEROW, C., J. SIMPSON, O. THIELE, W. BARNES, A. T. C. CHANG, E. STOCKER, R. F. ADLER, A. HOU, R. KAKAR, F. WENTZ, P. ASHCROFT, T. KOZU, Y. HONG, K. OKAMOTO, T. IGUCHI, H. KUROIWA, E. IM, Z. HADDAD, G. HUFFMAN, B. FERRIER, W. S. OLSON, E. ZIPSER, E. A. SMITH, T. T. WILHEIT, G. NORTH, T. KRISHNAMURTI, K. NAKAMURA, 2000: The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*: Vol. 39, No. 12, p. 1965–1982.

LAWRENCE, R.J. TRMM satellite validation office, 2006. Disponível em: <http://trmm-fc.gsfc.nasa.gov/trmm_gv/>. Acesso em: 15 mar. 2006.

LABAT, D. 2010. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology* 385(1–4): 269–278. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.02.029.

LAWLER, A. NASA Climate Satellite Wins Reprieve. v. 305, p. 927, 2004.

LEIVAS, J. F, RIBEIRO, G. G, SOUZA, M. B, FILHO, J. R: Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1611-1616.

LEE SY, PRIMAVERA JH, DAHDUH-GUEBAS F, MCKEE K, BOSIRE JO, et al. (2014) Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: A reassessment. *Global Ecol Biogeogr* 23: 726–743.

LIMA, M. I. C; BEZERRA, P. E. L.; ARAÚJO, H. J. T. Sistematização da geologia do estado do Amapá. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. Anais... Belém: SBG-Núcleo Norte, 1991. p. 322-335.

LOUZADA, F. R. O. Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para bacia hidrográfica do Rio Doce./ Franciane Lousada Rubini de Oliveira Louzada. – 2016. 107 f. : il.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P; BARROS, L. F. P. Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais – 1. Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MARENGO, JA, TOMASELLA J, UVO CR. 1998. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 103(D2): 1775–1783. DOI: 10.1029/97JD02551.

MARENGO, J.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, v.6, n.4, p. 617-627, 1993.

MARCUZZO, F. F. N. Bacias hidrográficas e regiões hidrográficas do Brasil: cálculo de áreas, diferenças e considerações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS. 2017.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; MELLO, L. T. A. Uso dos Métodos de Krigagem e Spline de Tensão no Mapeamento de Chuvas na Região Metropolitana de Goiânia e Seu Entorno. II Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia. São Paulo: EDUSP. 2010. p. 128-128.

MEJÍA, J. F., YEPES, J., HENAO, J. J., POVEDA, G., ZULUAGA, M. D., RAYMOND, D. J., & FUCHS-STONE, Ž. (2021). Towards a mechanistic understanding of precipitation over the far eastern tropical Pacific and western Colombia, one of the rainiest spots on Earth. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2020JD033415. <https://doi.org/10.1029/2020JD033415>.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE.
L'évaluation préliminaire des risques d'inondation 2011: bassin Guyane. Version V. 01. 2012.

MOURA, M. M et al. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin, *Science of The Total Environment*, Volume 651, Part 1, 2019, Pages 1639-1651, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>.

MORALES, C.A.; MACHADO, L.A.T.; SILVA DIAS, M.A.; AMORIM, W.; FREDIANI, M.E.B. Characteristics of the precipitating systems during the 2002 dry-towel field campaign in the Amazon region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDS AND PRECIPITATION – ICCP, 14., 2004, Bologna, Italy. Proceedings... Bologna, [s.n], 2004.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2008. Site: https://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/trmm_climatology_3B43.html: acesso em: 18/05/2020.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2 Ed – Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de recursos naturais e estudos ambientais, 1989.

NOVO, Evlyn. M. L. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. v. 2000. 269 p.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. El Niño & La Niña (El Niño-Southern Oscillation). *Climate Variability: Oceanic Niño 2014*. Index. Disponível em: <<https://www.https://www.climate.gov/enso>>. Acesso em: 17/09/2020.

_____. *Climate Variability: Oceanic Niño 2019*. Index. Disponível em: <[http:https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature](https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature)>. Acesso em: 17/09/2020.

_____. *Infrared Clouds*. 2019. Disponível em: <https://www.nnvl.noaa.gov/view/#GOES>. Acesso em: 17/09/2020.

_____. *ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions2021*. Index. Disponível em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf>. Acesso em: 17/04/2021.

NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J.A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian climate: main features. In: Keller M, BustamanteM, Gash J, Dias PS, editores. Amazonia and global change. Washington: American Geophysical Union; 2009.

NÓBREGA, L. S; SOUZA, E. P; GALVÍNIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do trmm em uma sub-bacia da Amazônia ocidental. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, no 1, jan/abr. 2008.

NICHOLSON, S.E.; et. al. 2003. Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. J. Appl. Meteor., 42, 1355–1368.

OLIVEIRA, G. M.; BARROS, A. C.; EVANGELISTA, J. E.; SANTOS, A. R. B.; HAIMOVICI, M.; FISCHER, L. G. Prospecções na região norte. In: HAMOVICI, M. (Org.). A prospeção pesqueira e abundancia de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: Levantamento de dados e avaliação crítica. Brasília: MMA/SMCQA, 2007.

PAIVA, R. C. D; BUARQUE, D. C; COLLISCHONN, W; SORRIBAS, M; ALLASIA, D. G. P; MENDES, C. A. B; TUCCI, C. E. M; BONNET, M. P. Using TRMM rainfall estimates in hydrologic and hydrodynamic modelling of the Amazon Basin. (IAHS Publ. 343, 2011).

PAGET, D. (1999). Etude de la diversité spatiale des écosystèmes forestiers guyanais: réflexion méthodologique et application [Diversidade espacial dos ecossistemas florestais na Guiana Francesa: método de estudo e aplicação] . Doutorado não publicado, ENGREF, Nancy (França).

PARIZOTTO, T. M. Análise da precipitação pluvial bacia do Paranapanema. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade estadual Paulista. Ourinhos – SP. 2008.

PALHARES, J. M; GURRA, A. J. T. Potencialidades no Município de Oiapoque, Amapá, para o Desenvolvimento do Geoturismo. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.2, p. 51-72, 2016. ISSN 2237-3071.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 18, n. 3, p. 139-148, jul./set. 2013.

PEEL, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A.: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633–1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>, 2007.

PMM. Precipitation Measurement Missions. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog/page2.php> Acesso em: 26 de maio de 2020.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. *Estud. av.* [online]. 2008, vol.22, n.63, pp.43-60. ISSN 0103-4014. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>.

PHILANDER, S. George. "9. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation". *Is the Temperature Rising?*, Princeton: Princeton University Press, 2018, pp. 143-158. <https://doi.org/10.1515/9780691187440-010>

REBOITA, M. S; GAN, M.A; PORFÍRIO, R. Rocha da; AMBRIZZI, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo (DCA / USP), São Paulo, SP, Brasil Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2 185–204.

READING, H.G. and COLLINSON, J.D. *Clastic Coasts. Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy.* Blackwells, Cornwall, 154-231. 1996.

RICHEY, J. E., Nobre, C. & Deser, C. Amazon river discharge and climate variability. *Science* 246, 101–103. 1989.

RONCHAIL, J; LABAT, D; CALLEDE, J; COCHONNEAU, G; GUYOT, J; FILIZOLA, N; De OLIVEIRA, E. Discharge variability within the Amazon basin. *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change - Hydroclimatic Variability* 296(April): 21–29. 2005.

ROIG, J.Y; MOISAN, M. (2011) - Inventaire du patrimoine géologique de la Guyane – Partie 2. Rapport BRGM/ RP-60644-FR. 67 p., 10 fig., 3 tab, 2 ann.

ROOY, M. P. VAN. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. *Notes*, 14, 43, 1965.

SANTOS, V. F.; MENDES, A. C.; SILVEIRA, O. F. M. Atlas de sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas. 1 ed. – Macapá: IEPA, 2016.

SANTOS, Valdenira Ferreira dos. Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto/ Valdenira Ferreira dos Santos. – Niterói : s.n., 2006.

SAMPAIO, M. da Silva; ALVES, M. C.; CARVALHO, L. G.; SANCHES, L. Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8857.

SAMPAIO, G.; SILVA DIAS, P.L. Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. Revista USP, n. 103, p. 41-54, 2014.

SILVA, L. M.; PORTELA, B. T. T. Um estudo da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar na costa norte-nordeste do Brasil. In: XIV Congresso Brasileiro da Meteorologia, 2006, Florianópolis-SC. Disponível em <<http://cbmet.com/cbm-files/14-d8543d98ead52056948606c2eede7c97.pdf>>. Acesso em 06/10/2020.

SCHNEIDER, UDO; BECKER, ANDREAS; FINGER, PETER; MEYER-CHRISTOFFER, ANJA; RUDOLF, BRUNO; ZIESE, MARKUS (2011): GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data.

SILVEIRA, O. F. M. A Planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente costeiro influenciado por grandes fontes fluviais quaternárias. 1998. 215 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

SILVEIRA, O. F.; SANTOS, V. F., 2006. Aspectos Geológicos-Geomorfológicos da Região Costeira entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos do Amapá. In: Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. Macapá, AP. Relatório Técnico-Científico Meio Físico.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Meteorologia e climatologia florestal. Curitiba: UFPR. 2004. 195p.

SCHMETZ, Johannes. AN INTRODUCTION TO METEOSAT SECOND GENERATION (MSG). Bulletin of the American Meteorological Society Volume 83: Issue 7. 2002.

THÉVENIAUT; Hervé; DELOR, Claude. Le paléomagnétisme du Bouclier des Guyanes : état des connaissances et analyse critique des données. *Géologie de la France*, 2003, n° 2-3-4, 59-82, 11 fig., 2 tabl.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira e MACHADO, Pedro José de Oliveira. *Introdução à Climatologia / Fillipe Tamiozzo Pereira Torres, Pedro José de Oliveira Machado – Ubá: Ed. Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia) 234p.*

TOSTES, J. A; FERREIRA, J. F. C. Amapá (Brasil) e Guiana Francesa (França): definindo o corredor transfronteiriço. *PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP* <https://periodicos.unifap.br/index.php/pracs> ISSN 1984-4352 Macapá, v. 9, n. 3, p. 73-97, dez. 2016.

TUCCI, C. E. M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

ULLOA J, BALLARI D, CAMPOZANO L, SAMANIEGO E. Two-Step Downscaling of Trmm 3b43 V7 Precipitation in Contrasting Climatic Regions With Sparse Monitoring: The Case of Ecuador in Tropical South America. *Remote Sensing*. 2017; 9(7):758. <https://doi.org/10.3390/rs9070758>.

VILLAR, J. C. E. et al. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *Journal of Hydrology*, v. 375, p. 297–311. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-hydrology/vol/375/issue/3>. Acesso em: 06 de Outubro de 2020.

WANG, Bin. Climatic Regimes of Tropical Convection and Rainfall. *Journal of climate*. V. 7 Ed. 7. p. 1109-1118. 1994.

WELLS, J. T.; COLEMAN, J. M. (1978). Nearshore suspended sediment variations, central Surinam coast. *Mar Geol* 24: 47-54. DOI: 10.1016/0025-3227(77)90069-X

YAN Y.Y. (2005) Intertropical Convergence Zone (ITCZ). In: Oliver J.E. (eds) *Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. Disponível em: https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_110.

Yamazaki D.; Ikeshima, D; Tawatari, R; Yamaguchi, T; O'Loughlin, F; Neal, J.C; Sampson, C.C; Kanae, S; Bates, P.D. A high accuracy map of global terrain elevations *Geophysical Research Letters*, vol.44, pp.5844-5853, 2017 doi: 10.1002/2017GL072874.

ZANELLA, M.E., OLIMPIO, J. L. S., COSTA, M. C. L, DANTAS, E.W.C. 2013. Vulnerabilidade socioambiental do Baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. Revista Sociedade e Natureza 2, 317-332.