



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Centro de Ciências do Ambiente - CCA

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia

- PPGCASA

MESTRADO ACADÊMICO

**INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS SOBRE O REGIME
HIDROLÓGICO NO MÉDIO RIO NEGRO (AMAZONAS – BRASIL)**

Áurea Camila Muniz Soares

MANAUS-AM

2022

Áurea Camila Muniz Soares

**INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS SOBRE O REGIME
HIDROLÓGICO NO MÉDIO RIO NEGRO (AMAZONAS – BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como exigência para o título de mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa

MANAUS-AM

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S676i Soares, Áurea Camila Muniz
Influência de fenômenos climáticos sobre o regime hidrológico no médio rio Negro (Amazonas – Brasil) / Áurea Camila Muniz Soares . 2022
77 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Coorientador: Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa
Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Vazão. 2. Precipitação. 3. Enos. 4. Dipolo do Atlântico. 5. Impactos. I. Freitas, Carlos Edwar de Carvalho. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ÁUREA CAMILA MUNIZ SOARES

**INFLUÊNCIA DE FENÔMENOS CLIMÁTICOS SOBRE O REGIME
HIDROLÓGICO NO MÉDIO RIO NEGRO (AMAZONAS – BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como exigência para o título de mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

COMISSÃO JULGADORA:

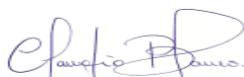
APROVADO EM: 18 / 08 / 2022.



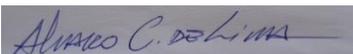
Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Orientador (UFAM)



Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa
Coorientador (UFPA)



Prof. Cláudio José Cavalcante Blanco, *Ph.D.*
Membro Externo (UFPA)



Prof. Dr. Álvaro Carvalho de Lima
Membro Interno (UFAM)

Rogério Ribeiro Marinho

Prof. Dr. Rogério Ribeiro Marinho
Membro Interno (UFAM)



Áurea Camila Muniz Soares
Mestranda

MANAUS-AM

2022

RESUMO

O conhecimento das condições hidrológicas de um rio é um dos principais fatores para uma gestão eficiente da infraestrutura hídrica local, sendo importante no desenvolvimento de ferramentas e técnicas de previsão hidrológica, as quais buscam identificar maneiras de mitigação de riscos ambientais em casos de extremos climáticos. As ocorrências climáticas possuem grande influência sobre o regime hídrico, mais especificamente sobre as vazões e a precipitação, pois atuam diretamente na quantidade de água presente, provocando alterações nos períodos de secas e cheias. Em vista disso, e tendo como área de estudo o trecho entre as cidades de São Gabriel da Cachoeira e Barcelos, região do médio Rio Negro (Amazonas), esta pesquisa objetivou analisar como os fenômenos climáticos ENOS (El Niño e La Niña) e Dipolo do Atlântico (Dipolo Positivo e Dipolo Negativo) interferem sobre o regime de vazões. Juntamente com a verificação de suas atuações sobre a variabilidade climática local, por meio da precipitação. De forma inicial, realizou-se o levantamento de dados referentes as vazões registradas entre os anos de 1978 e 2017 (série histórica). Posteriormente, o fenômeno ENOS foi determinado com base em seu Índice de Oscilação do Niño (ION), para o Dipolo do Atlântico utilizou-se os índices *TNA (Tropical Northern Atlantic)* e *TSA (Tropical Southern Atlantic)*, obtendo-se o Gradiente Inter-hemisférico (GIH). Por meio destes índices foi possível visualizar como as suas ocorrências influenciaram as vazões anualmente, e mensalmente com as intensidades dos fenômenos, tornando a análise mais precisa e pontual. Também foram realizadas análises estatísticas com os testes de *Grubbs*, *Shapiro-Wilk* e *Correlação de Spearman*, considerando as interações entre os valores de vazão e os índices climáticos. Assim, foi identificado que em anos de El Niño ocorreram a maioria das menores vazões da série histórica. Contrariamente, em anos de La Niña, a maioria das maiores vazões foram registradas, seguindo a lógica de efeitos gerados por estas fases do ENOS. Quanto ao Dipolo do Atlântico, suas fases também seguiram as regularidades, quando em anos de Dipolo Positivo as vazões estiveram entre as menores da série, enquanto o Dipolo Negativo registrou as maiores vazões. As ocorrências simultâneas também merecem ênfase, visto que o El Niño, juntamente com Dipolo Positivo, reduziu as vazões e a La Niña, em conjunto com Dipolo Negativo, implica na intensificação e aumento da mesma. As vazões e as precipitações, apresentaram correlação significativa e diretamente proporcional entre elas, porém fraca.

Palavras-chaves: Vazão, Precipitação, ENOS, Dipolo do Atlântico, Impactos.

ABSTRACT

Knowledge of the hydrological conditions of a river is one of the main factors for an efficient management of the local water infrastructure, being important in the development of hydrological forecasting tools and techniques, which seek to identify ways to mitigate environmental risks in cases of climatic extremes. Climatic occurrences have a profound influence on the water regime, more specifically on flows and precipitation, as they act directly on the amount of water present, causing changes in periods of droughts and floods. In view of this and having as a study area the stretch between the cities of São Gabriel da Cachoeira and Barcelos, region of the middle Rio Negro (Amazonas), this research aimed to analyze how the climatic phenomena ENOS (El Niño and La Niña) and Dipole of the Atlantic (Positive Dipole and Negative Dipole) interfere on the flow regime. Along with the verification of their actions on the local climate variability, through precipitation. Initially, data collection was carried out regarding the flows recorded between the years 1978 and 2017 (historical series). Subsequently, the ENSO phenomenon was determined based on its Niño Oscillation Index (ION), for the Atlantic Dipole the TNA (Tropical Northern Atlantic) and TSA (Tropical Southern Atlantic) indices were used, obtaining the Inter-hemispheric (GIH). Through these indices, it was possible to visualize how their occurrences influenced the flows annually, and monthly with the intensities of the phenomena, making the analysis more precise and punctual. Statistical analyzes were also performed with the Grubbs, Shapiro-Wilk and Spearman Correlation tests, considering the interactions between the flow values and the climatic indices. Thus, it was identified that in El Niño years there were most of the lowest flows in the historical series. In contrast, in La Niña years, most of the highest flows were recorded, following the logic of effects generated by these ENSO phases. As for the Atlantic Dipole, its phases also followed the regularities, when in years of Positive Dipole, the flows were among the lowest in the series, while the Negative Dipole recorded the highest flows. The simultaneous occurrences also deserve emphasis, since the El Niño, together with the Positive Dipole, reduced the flows and the La Niña, together with the Negative Dipole, implies its intensification and increase, the flows and precipitations, showed a significant and directly proportional correlation between them, however weak.

Keywords: Flow, Precipitation, ENSO, Atlantic Dipole, Impacts.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico, primeiramente, a Deus por todas as bênçãos, pela minha saúde e por fortalecer minha fé nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais e irmãos pelo amor, carinho, compreensão ao longo desta jornada. Sendo incansáveis e buscando sempre manter nosso alicerce familiar.

À minha madrinha, por todo o amor, pelo auxílio e incentivo ao longo de toda minha vida, minha eterna gratidão.

À esta universidade, a faculdade e seu corpo docente, os quais me proporcionaram oportunidades e conhecimentos imensuráveis. Pelo ambiente de convivência, pelo apoio, e afetividade em meu processo de formação profissional.

Ao meu orientador e Prof. Dr. Carlos Edwar de Carvalho Freitas e ao meu coorientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa, pela assistência, confiança, esforço e dedicação à elaboração deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio prestado à comunidade científica acadêmica da qual faço parte, incentivando de forma admirável e transparente, colaborando com a construção da pesquisa e todo o seu êxito.

Aos meus amigos, em geral, que sempre estiveram comigo, nos bons e maus momentos, pela irmandade, compreensão, afeto, sinceridade, cuidado, proteção. Sendo fundamentais e me mostrando a importância de uma amizade verdadeira, fazendo parte da minha formação e com grande parcela de contribuição em todo este ciclo vitorioso, todo o reconhecimento e amor.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

*“Não foi eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!
Não se apavore e nem desanime, pois o Senhor, o seu
Deus, estará com você por onde andar.”*

Josué 1:9

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Classificação das intensidades do Fenômeno ENOS.....	53
Tabela 2 - Interpretação do grau de correlação dado o valor p	56
Tabela 3 - Classificação das vazões diárias da estação fluviométrica de Serrinha (AM)..	57
Quadro 1 - Valores de ION de 1978 a 2017	50
Quadro 2 - Valores de TNA de 1978 a 2017.....	51
Quadro 3 - Valores de TSA de 1978 a 2017.....	52
Quadro 4 - Determinação das fases (positiva ou negativa) do Índice Inter- Hemisférico.....	53
Quadro 5 - Classificação e períodos de duração (meses/anos) dos fenômenos ENOS entre nos anos de 1978 a 2017.....	61
Quadro 6 - Intensidades ENOS x Anos de ocorrências.....	62
Quadro 7 - Classificação e períodos de duração (meses/anos) dos fenômenos Dipolo do Atlântico entre nos anos de 1978 a 2017.....	65
Quadro 8 - Dipolo do Atlântico x Anos de ocorrências.....	66
Quadros 9 - Média Histórica da Vazão (MHV).....	67
Quadro 10 - Fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desmatamento em Lábrea, município do sul do Amazonas (2021)	16
Figura 2 - Vila na Alemanha inundada pela cheia do rio Kyll (2021)	18
Figura 3 - Zhengzhou, capital da província de Henan, na China (2021).....	18
Figura 4 - Trecho do rio Cachoeira, em Itabuna (BA), após fortes chuvas em 2021	19
Figura 5 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na imagem dos satélites GOES+METEOSAT, 2009.	23
Figura 6 - Representação esquemática da circulação geral da atmosfera.....	24
Figura 7 – Fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS) - El Niño de 2015/2016 e La Niña de 1999/2000	27
Figura 8 – Regiões de monitoramento da temperatura da superfície do mar	28
Figura 9 - Caracterização de ocorrência do fenômeno El Niño	29
Figura 10 - Caracterização de ocorrência do fenômeno La Niña	30
Figura 11 - Áreas do oceano Atlântico Tropical que foram calculados os TNA e TSA, associadas ao Padrão de dipolo de anomalias de TSM no Atlântico	31
Figura 12 - Seca no município de Tefé (AM), 2005.	34
Figura 13 - Seca no Rio Negro (AM), 2010.	34
Figura 14 - Casa tomada pelas águas do Rio Negro, em Manaus, 2021.	36
Figura 15 – Cheia do Rio Negro, em Barcelos, 2021.....	37
Figura 16 - Mapa - Localização da estação fluviométrica de Serrinha, Santa Izabel do Rio Negro – AM e da estação pluviométrica do Livramento, São Gabriel da Cachoeira – AM.....	42
Figura 17 – Curva de Permanência.....	54
Figura 18: Ocorrências anuais dos ENOS x Vazão Média Anual	55
Figura 19: Ocorrências mensais dos ENOS x Vazão Média Anual	56
Figura 20: Ocorrências Anuais do Dipolo do Atlântico x Vazão Média Anual.....	59
Figura 21: Ocorrências Mensais do Dipolo do Atlântico x Vazão Média Anual.....	60
Figura 22: Identificação de outlier (13638.73) nos dados de Qmed	63
Figura 23: Identificação de outlier (361.5) nos dados de Precmed	64
Figura 24: Distribuição normal para valores de Qmed.....	64
Figura 25: Distribuição não normal (enviesada para a esquerda) para valores de Precmed	65
Figura 26: Correlação de <i>Spearman</i> para Qmed e Precmed.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	–	Agência Nacional de Águas
CPC	–	<i>Climate Prediction Center</i>
CPRM	–	Serviço Geológico do Brasil
EN	–	El Niño
ENOS	–	El Niño Oscilação Sul
GDV	–	Confederação Alemã de Empresas e Seguros
GEE	–	Gases do Efeito Estufa
GIH	–	Gradiente Inter-Hemisférico
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDAM	–	Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas
IMAZON	–	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
INPA	–	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ION	–	Índice Oceânico Niño
IPCC	–	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LN	–	La Niña
MHV	–	Média Histórica da Vazão
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
MNC	–	Média Normal Climatológica
NOAA	–	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	–	Organização Meteorológica Mundial
PBMC	–	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
Precmed	–	Precipitação Média
Qmed	–	Vazão Média
SAD	–	Sistema de Alerta de Desmatamento
TNA	–	<i>Tropical Northern Atlantic</i>
TSA	–	<i>Tropical Southern Atlantic</i>
TSM	–	Temperatura da Superfície do Mar
ZCIT	–	Zona de Convergência Intertropical

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	15
2.1.1	Sistemas Atmosféricos e Fenômenos Climáticos	22
2.1.1.1	El Niño Oscilação Sul – ENOS	26
2.1.1.2	Dipolo do Atlântico	30
2.2	RECURSOS HÍDRICOS E A VARIABILIDADE CLIMÁTICA	32
2.2.1	Eventos hidrológicos extremos e os impactos socioambientais	33
3	HIPÓTESES	39
4	OBJETIVOS	40
4.1	OBJETIVO GERAL	40
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
5	MATERIAL E MÉTODOS	41
5.1	ÁREA DE ESTUDO E DADOS HIDROLÓGICOS	41
5.2	ELABORAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA	44
5.3	ÍNDICES CLIMÁTICOS DO ENOS	45
5.4	ÍNDICES CLIMÁTICOS DO DIPOLO DO ATLÂNTICO	46
5.5	INTENSIDADES E FASES DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS	48
5.6	TESTES ESTATÍSTICOS	50
5.6.1	<i>Grubbs</i>	50
5.6.2	<i>Shapiro-Wilk</i>	51
5.6.3	Correlação de <i>Spearman</i>	52
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1	CURVA DE PERMANÊNCIA	53
6.2	CLASSIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS ENOS	54
6.3	CLASSIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS DIPOLO DO ATLÂNTICO	59
6.4	VERIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE A VAZÃO E A PRECIPITAÇÃO	63
7	CONCLUSÃO	66
	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

A conservação do ambiente envolve debates sobre o clima e sobre questões socioeconômicas, políticas e suas consequências, que repercutem sobre todo o globo. Os aumentos globais da concentração de dióxido de carbono se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças nos usos da terra. É provável que grande parte do aumento observado nas temperaturas médias globais, desde meados do século XX, se deva ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) prevê, até 2100, um aumento de cerca de 4°C na temperatura média, com projeções regionais para a Amazônia envolvendo elevação de até 8°C que, conjugada à redução de chuvas, levaria à substituição de florestas por savanas (VALE *et al.* 2009).

Nesse sentido, em 2014, o Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (PBMC) produziu um documento sobre o impacto das mudanças climáticas no Brasil, no qual, a partir dos dados coletados e utilizando modelos climáticos globais estabelecidos, projetou-se para os cinco biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica) a incidência das mudanças do clima e de como tais áreas seriam afetadas pelo aumento da temperatura terrestre, com previsão de diminuição das chuvas em determinadas regiões (BOLSON; HAONAT, 2016).

Neste contexto, ao discutir as influências das ações antrópicas sobre clima global, é necessário entender de que maneira a Amazônia é afetada dentro destas relações, pois diversos serviços ambientais são prestados pelas florestas. A Amazônia contém o maior reservatório de carbono entre os ecossistemas terrestres, e tem um papel essencial na mitigação das mudanças climáticas em curso, além de ser parte do mais intenso ciclo hidrológico de nosso planeta (ARTAXO *et al.*, 2014).

Um fator local determinante para mudanças no clima é o desmatamento, que provoca perturbações no ciclo hidrológico regional, causando diminuições na precipitação local, visto que a combinação de pecuária extensiva, agricultura de corte e queima, somado aos incêndios florestais inibem a pluviosidade ao reduzirem a quantidade de vegetação lançando água para a atmosfera. A junção do desmatamento com o a elevação da temperatura global poderá trazer fortes períodos de seca para a Amazônia, com reduções no volume de chuva da ordem de 20 a 30% (MALHI *et al.*, 2008). Essas reduções estão relacionadas aos anos de El Niño cada vez mais frequentes e intensos, trazendo secas intensas para a região (HANSEN *et al.*, 2006).

Embora seja crucial conhecer o início e o fim da estação chuvosa, bem como a variabilidade das estações úmidas e secas, também se faz necessário entender as influências advindas das ocorrências de fenômenos climáticos globais sobre a região. Evidências científicas apontam para uma intensificação da variabilidade climática associada a fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) em função do aumento do efeito estufa. O fenômeno El Niño caracteriza-se pelo aquecimento acima do normal das águas do oceano Pacífico Equatorial, dependendo da intensidade e período do ano em que ocorre, é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos. Contrariamente, o fenômeno La Niña é caracterizado pelo resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico, favorecendo a ocorrência de chuvas, normalmente responsável por anos considerados chuvosos ou muito chuvosos na região (FERREIRA; MELLO, 2005).

Segundo Nóbrega *et al.* (2016) outro fenômeno oceano-atmosférico, conhecido como Dipolo do Atlântico, é identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície água no Oceano Atlântico Tropical. Na fase positiva do dipolo de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se posiciona, em média, em latitudes mais ao norte do que a sua posição climatológica provocando menos chuvas do que a climatologia. De maneira oposta, na fase negativa, a ZCIT encontra-se mais ao sul, ocasionando mais chuvas. (HASTENRATH; HELLER, 1977; MOURA; SHUKLA, 1981; ARAGÃO, 1998; NOBRE; SHUKLA, 1996). Especialmente sobre o Brasil, este padrão está associado a mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte, uma vez que o dipolo de TSM do Atlântico apresenta correlações fortemente negativas com as precipitações dessas regiões (FIGLIUOLO, 2017).

Análises sobre o regime hidrológico da bacia do Rio Negro, verificaram que o fenômeno El Niño atrasa o mês de menor vazão ao longo da bacia e o La Niña antecipa o mês de maior vazão. Observa-se principalmente uma grande variabilidade interanual durante o El Niño, com grandes quedas nas vazões durante as grandes secas que afetaram a Amazônia em 1964, 1980, 1983, 1991 e 1998 (MARENGO, 2007). No caso das cheias relacionadas aos fenômenos climáticos, estas também já vem ocorrendo com maior frequência nos últimos anos, como em 2012, 2015, 2017, 2019 e 2021 (O eco, 2021).

A cheia do Rio Negro alcançou a cotação recorde registrada em Manaus no mês de junho de 2021, com a marca de 30,02 metros, a maior desde o início da medição em 1902, tendo como principais causas a ocorrência de chuvas em grande quantidade e o

fenômeno La Niña, presente entre a primavera de 2020 até o outono de 2021. Quando em conjunto com o fenômeno do Dipolo do Atlântico, as consequências podem ser mais intensificadas, principalmente durante a ocorrência do Dipolo Negativo onde a ZCIT está mais ao sul e causa maior quantidade de precipitação.

Segundo a Defesa Civil do Amazonas (2021), mais de 400 mil pessoas foram afetadas pela cheia dos rios que envolvem a bacia amazônica. Pelo menos 58 dos 62 municípios amazonenses enfrentaram os problemas causados pela inundação, com 20 municípios decretando emergência por conta de falta de abrigos, de abastecimento de água potável, de alimentos e acesso à cuidados de saúde para a população afetada. De acordo com um balanço divulgado pelo Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM, 2021), cerca de 16 mil famílias amazonenses tiveram perdas na produção agrícola devido às enchentes, causando problemas econômicos, sociais e ambientais.

Barcelos, Manaus, Novo Airão, São Gabriel da Cachoeira e Santa Isabel do Rio Negro foram cidades atingidas pelas cheias do Rio Negro em 2021. Barcelos registrou a marca máxima de 10,33 metros, conforme dados do Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental, do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2021) com as águas atingindo as moradias, os comércios e, conseqüentemente, a movimentação econômica da cidade. Em Manaus, um exemplo é distrito de Cacau Pirêra, no município de Iranduba, Região Metropolitana, onde mais de 17 mil pessoas foram afetadas com a cheia em 2021 (Defesa Civil do Amazonas, 2021).

Diante das ocorrências citadas, este trabalho busca identificar como as mudanças climáticas, provocadas pelos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico, agem sobre o regime hidrológico na região do Médio Rio Negro e de que forma a pluviosidade interfere nesse processo. Com isso, ações para mitigar as consequências trazidas por eventos extremos poderiam ser tomadas antecipadamente, propondo indicadores para avaliar a ocorrência de riscos decorrentes desses eventos climáticos, além de analisar os impactos socioeconômicos e ambientais de tais desastres, contribuindo para a formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Diversos são os cenários de mudanças climáticas relacionados às emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE - como o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio, clorofluorcarbonos (CFCs) e vários tipos de aerossóis) e ao aquecimento global, que estão relacionados com a ocorrência de eventos extremos que trazem consequências significativas para a sociedade. A emissão dessas substâncias sofre um considerável aumento em consequência de ações antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos, queimadas de grandes proporções e a multiplicação do rebanho bovino, que contribui com liberação de metano por meio do processo digestivo (CONTI, 2005).

Conti (2005) destaca ainda que o efeito estufa é um fenômeno natural, sem o qual a temperatura média do planeta, atualmente em torno de 15°C, desceria para -18°C, tornando inviável a permanência da biosfera atual, não resultando somente de gases produzidos por atividades humanas, os quais contribuem com 40% do total, cabendo ao dióxido de carbono 25% e 15% aos demais. O vapor d'água, com 60% de participação, é o agente mais ativo do efeito estufa, presente em diferentes faixas de absorção da radiação infravermelha, colaborando de forma dominante no processo de aquecimento e aumento do volume de vapor na atmosfera.

Das emissões brasileiras de gases de efeito estufa, 55% são provenientes das alterações da vegetação, principalmente dos desmatamentos que ocorrem na Amazônia e no Cerrado e 25% da agricultura, pelo metano emitido por ruminantes. Essa configuração diferencia o Brasil de outros países desenvolvidos e de economias emergentes como China e Índia, onde a queima de combustíveis fósseis é responsável por entre 60% e 80% das emissões, aqui, ao contrário, 80% das emissões são resultantes direta ou indiretamente da agricultura (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE, 2013)

A derrubada de grandes porções de floresta também é um dos pontos mais relevantes relacionados ao clima. A Amazônia é importante para o planeta por capturar e armazenar grande parte do carbono da atmosfera, exercendo um papel fundamental no clima da América do Sul por seus efeitos sobre o ciclo hidrológico local (MARENGO *et al.*, 2015). Dados do Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) no Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON, 2022), informam que foram destruídos 10.362

km² de mata nativa, valor 29% maior do que os registrados em 2020, que atingiram 8.096 km². A Figura 1 apresenta uma grande área desmatada em Lábrea (AM), em 2021:

Figura 1 – Desmatamento em Lábrea, município do sul do Amazonas (2021)



Fonte: <https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-cresce-29-em-2021-e-e-o-maior-dos-ultimos-10-anos/>

Segundo Ferreira *et al.* (2017), a diminuição da vegetação e as variações no uso do solo geram diversas alterações no ciclo hidrológico e no clima. Sendo que a elevação da temperatura global e a modificação no regime de chuvas são os efeitos mais perceptíveis das mudanças climáticas. Geralmente, os dois parâmetros, a precipitação e a temperatura são os frequentemente utilizados no monitoramento das tendências de mudanças climáticas em dado local. Estudos sobre os efeitos do desmatamento sobre o clima na região amazônica são de fundamental importância para a compreensão de cenários futuros.

O aquecimento planetário conduz à elevação da superfície livre do mar devido a dois mecanismos: a expansão térmica da água e o aumento do volume de água por conta do derretimento das calotas continentais de gelo. A expansão térmica, nesse caso, poderá contribuir com mais do que a metade da elevação da superfície do mar neste século. O nível global dos oceanos aumentou cerca de 2 milímetros ao ano, no século XX. Uma taxa, provavelmente, muito maiores aquelas nos séculos anteriores (CASTRO *et al.*, 2010).

Acot (2003), propõe duas hipóteses: o aumento da média térmica do globo de até 4,0°C até 2050, afetando mais o hemisfério norte, com um aumento de, até 1 metro, ou mais, no nível dos oceanos, no mesmo período. Na última década, em ambos os hemisférios, não há apenas exemplos de degelo, mas também de elevação significativa do nível do mar, excepcionais pluviométricas e barométricas, e processos de desertificação, vêm sendo apontados como fortes indícios desses processos, já que a concentração de gases não para de crescer (CONTI, 2005).

Observações realizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), desde o ano 1961, mostram que a temperatura média do oceano global aumentou em profundidades de até pelo menos 3000 metros e que o oceano tem absorvido mais de 80% do calor acrescentado ao sistema climático. Outra relevante projeção feita pelo IPCC é em relação ao Oceano Ártico e seu aquecimento. O principal fator atribuído é um fator físico chamado feedback (retroalimentação) da refletividade. O gelo reflete de 60 a 70% da radiação solar. Assim, relativamente, pouca radiação é absorvida pela superfície e esses lugares são muito frios. Já o oceano reflete apenas 6% desta radiação e cerca de 94% é absorvida.

Bessat (2003), baseando-se em modelos climáticos, identifica tendências para o próximo século, de aumento de 2,0°C na temperatura, em média, entre 1990 e 2100 e elevação do nível do mar, de 0,50 a 0,80 m até 2.100, aumento da precipitação de inverno nas latitudes mais elevadas e intensificação do ciclo hidrológico, com maior incidência de secas e inundações, além de perturbações no ciclo do carbono.

De acordo a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2021), países como Alemanha (Figura 2), Bélgica e Holanda sofreram com grandes desastres provocados por enchentes extremas, onde volumes de chuvas, geralmente, esperados para meses foram registrados em horas. Na china, na província de Zhengzhou (Figura 3), a situação foi ainda mais crítica, onde os volumes esperados para seis meses foram registrados em seis horas de chuvas. Sobre o nível do mar, o relatório realizado pelo OMM, confirma que a média global de aumento tem sido de 3,3 mm por ano, mas no Oceano Índico e noroeste do Oceano Pacífico, o nível do mar tem aumentado muito mais.

Dentro desses cenários de extremos, os aspectos socioeconômicos são diretamente impactados. Na forte temporada de chuvas ocorridas na Europa em 2021, foram registradas 165 mortes na Alemanha e 31 na Bélgica. Conforme informações da Confederação Alemã de Empresas e Seguros (GDV, 2021), as inundações custarão até 5 bilhões de euros em indenizações a população.

Figura 2 - Vila na Alemanha inundada pela cheia do rio Kyll (2021)



Fonte: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/enchentes-na-alemanha-mortos-e-desaparecidos/>

Figura 3 - Zhengzhou, capital da província de Henan, na China (2021)



Fonte: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2021/07/20/chuva-causa-alagamentos-e-deixa-mortos-em-provincia-na-regiao-central-da-china.ghtml>

É importante salientar que a ocorrência de mudanças climáticas não se restringe apenas a uma cidade, país ou continente. A realidade é que seus efeitos podem causar ou agravar ainda mais problemas de escala mundial, atingindo assim todos os ecossistemas existentes e podendo comprometer diversas espécies, sendo responsável também por

inúmeras mortes, migrações forçadas, mudanças bruscas de temperatura, causadas por eventos extremos.

O Brasil tem vivenciado a intensificação de eventos extremos climáticos, com fortes chuvas, temperaturas altas, estiagens e secas, enchentes, deslizamentos de terras, ameaças de rompimento de barragens. Em 2021, vários estados brasileiros foram fortemente impactados, entre eles estão Minas Gerais, Bahia, Pará, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, com a ocorrência simultânea de excesso de chuvas nas regiões Nordeste e Sudeste, e extremos de escassez hídrica na região Sul do país. Em Itabuna, na Bahia, fortes chuvas atingiram a população e causaram dezenas de desalojamentos (Imagem 4).

Figura 4 - Trecho do rio Cachoeira, em Itabuna (BA), após fortes chuvas em 2021



Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-59804297>

Os eventos apresentam impactos imediatos na saúde, com surtos de doenças (transmissíveis e não transmissíveis) relacionados às condições de vida frente ao desastre, pela pouca capacidade de resposta do serviço de saúde local, além de mortes e grandes desalojamentos. Na Amazônia, as ameaças ou eventos naturais que podem desencadear danos estão ligados predominantemente à dinâmica dos rios com casos mais comuns de ameaças relacionadas a enchentes, erosão e em menor incidência a seca. Durante a estação chuvosa podem ser observados diversos eventos de alta precipitação que podem intensificar a ocorrência de processos atuantes na costa, como os alagamentos e erosão (TAVARES, 2014). De certa forma, as populações amazônicas adaptam-se aos processos

de erosão hídrica, porém sua expansão, principalmente ao longo das margens de rios e consequente alteração topográfica com aterros e outras estratégias de engenharia não adaptadas as condicionantes naturais, levam a ampliação das perdas de solo (GOMES *et al.*, 2021). Castro *et al.* (2010) destacou o aumento da frequência e intensidade de tempestades em regiões costeiras, com alteração da dinâmica sedimentar provocando erosão e assoreamento, mudanças no regime hidrológico, perda do espaço territorial costeiro por inundação permanente, perda de habitats costeiros, salinização do lençol freático, problemas no abastecimento de água potável e para fins industriais ou agrícolas, na captação e no escoamento de efluentes urbanos.

O transporte fluvial de material dissolvido e em suspensão é resultado da erosão em uma bacia hidrográfica, principalmente nas áreas de cabeceira, e sua variabilidade depende de fatores como relevo e clima. A coleta de informações sobre a origem e o fluxo do material transportado em rios são necessárias para que seja possível realizar a caracterização do comportamento de grandes bacias continentais e conhecer as influências ambientais, como em eventos climáticos (FILIZOLA *et al.*, 2011). Os rios desenvolvem um importante papel na erosão continental, sendo os principais agentes de transferência dos produtos da erosão para os oceanos.

A entrada de água na bacia hidrográfica por meio da precipitação pluviométrica dinamiza não apenas os processos de infiltração e escoamento subsuperficial, mas também os processos superficiais, como a erosão e transporte de massa e altera significativamente o volume escoado pelo canal do rio (CORREA, 2017). Carvalho *et al.* (2012) e Coutinho *et al.* (2015) falam sobre a importância do estudo da precipitação pluvial em bacias hidrográficas para o balanço hídrico regional, pois as consequências da infiltração e escoamento superficial da água pluvial são fatores essenciais para a manutenção dos recursos hídricos que sofrem influência direta dos eventos extremos climáticos.

Na região Amazônica são comuns habitações às margens dos rios tradicionalmente conhecidas como palafitas, construídas levando em consideração as variações sazonais do nível das águas dos rios. Porém, as ocorrências de eventos extremos provenientes de oscilações climáticas favorecem o aumento pluvial, ocasionando erosão hídrica do solo e aumentando a vulnerabilidade destas comunidades (DE CARVALHO; DA CUNHA, 2011).

Neste sentido, a floresta amazônica torna-se um foco de preocupação por conta dos impactos severos de mudanças de clima previstas para esta área, pois a vasta extensão da floresta dá a ela um papel significativo na intensificação ou na mitigação das mudanças no clima (FEARNSIDE, 2008). A perda de floresta por desmatamento, conduziria à redução da evapotranspiração na região, cortando assim parte da provisão de vapor de água que é necessária para manter grandes quantias de chuva na região (FEARNSIDE, 1995).

As florestas amazônicas reciclam uma quantia enorme de água, suprimindo o vapor de água para a atmosfera que sustenta a chuva na bacia amazônica, necessária para manter a própria floresta (LEAN *et al.*, 1996). Estima-se que o desmatamento de 40% da floresta amazônica resulte em 12% de redução na precipitação na estação chuvosa e 21% de redução na estação seca em toda a bacia amazônica. O impacto pode se estender para a bacia do Rio de La Plata a milhares de quilômetros da Amazônia (SPRACKLEN *et al.*, 2012). A interdependência entre o regime de chuvas e a manutenção da cobertura florestal reforça a importância da floresta para o clima regional. Se o desmatamento se expandir substancialmente para grandes áreas há confiança que a redução da evapotranspiração conduzirá a uma menor precipitação durante períodos secos na Amazônia (LEAN *et al.*, 1996).

Zanin (2021) traz em seus estudos a importância da umidade dos solos da floresta amazônica sobre o balanço hídrico, por conta de sua capacidade de manter as características hidroclimáticas de eventos passados e influenciar na evapotranspiração e precipitação. O uso da terra tem implicações importantes, uma vez que seus efeitos sobre as chuvas podem ser percebidos não só localmente, mas também em escala continental. Estudos realizados por Makarieva *et al.* (2012), demonstraram que a perda de florestas tropicais prejudica a vida a milhares de quilômetros de distância da origem da ação, devido às conexões atmosféricas em larga escala.

Marengo (2018) explicou que a Floresta Amazônica afeta as chuvas tanto no Sul do Brasil quanto na Argentina, Uruguai e Paraguai, em razão dos processos físicos e atmosféricos causados pelos ventos alísios sobre o Oceano Atlântico, levando umidade para o interior da América do Sul tropical. A vegetação Amazônica contribui para o aumento da umidade por meio do processo de evapotranspiração, essa umidade é carregada pelo vento em direção aos Andes a qual é desviada para o Sudeste da América

do Sul. Assim, algumas das chuvas que ocorrem na bacia do Rio da Prata incluindo o Sul do Brasil vêm de fato da Amazônia.

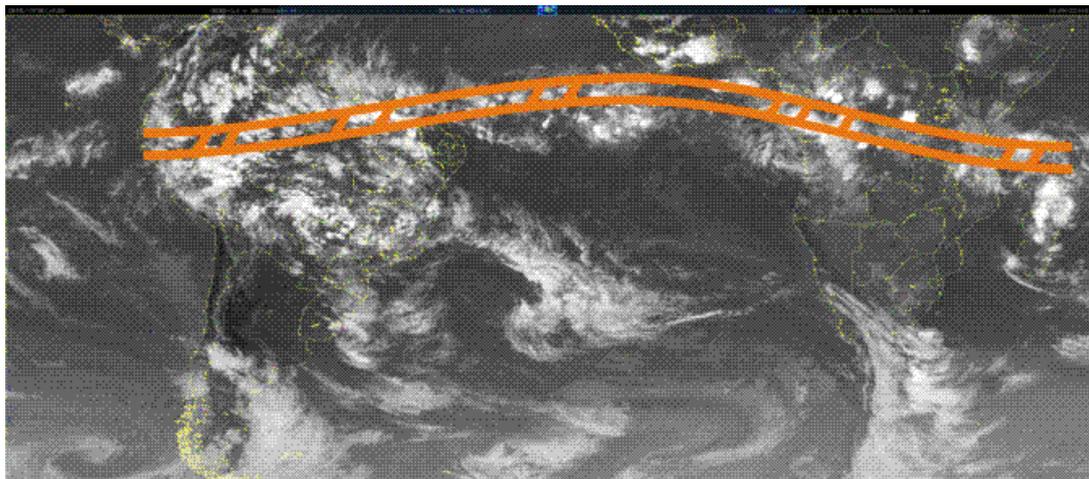
As alterações climáticas globais devem ser consideradas para as análises e previsão dos eventos climáticos extremos na Amazônia, sendo as Regiões Hidrográficas os principais receptáculos dos desastres naturais, cabendo aos órgãos de defesa civil atuarem de forma proativa no planejamento dos planos de contingências estadual, estabelecendo suas ações mitigadoras com base nos seus eventos extremos, possibilitando aos gestores públicos compreenderem as ocorrências destes eventos na atualidade, representando uma espécie de sobreaviso as comunidades, com a finalidade de reduzir as perdas humanas e/ou materiais, econômicas ou ambientais (SANTOS *et al.*, 2020).

Conclui-se que o monitoramento do desmatamento e das práticas conservacionistas, assim como o manejo adequado do solo, são essenciais para reduzir as chances de ocorrência deste risco ambiental. Desta forma, prevenindo em anos extremos não só os prejuízos econômicos, mas em alguns casos diminuindo o risco de perdas sociais que a erosão pode acarretar. A relação oceano-atmosfera-litossfera precisa de um número maior de pesquisas do quanto as mudanças climáticas nos últimos anos tem afetado a qualidade do solo, pois este é fundamental para a manutenção das sociedades e no âmbito econômico a nível regional e global (GOMES *et al.*, 2021).

2.1.1 Sistemas Atmosféricos e Fenômenos Climáticos

Diversos sistemas atmosféricos atuam em distintas escalas espaciais e temporais contribuindo para episódios extremos de clima que podem resultar em chuvas intensas, estiagens prolongadas, ventos fortes ou ondas de frio e de calor (OLIVA, 2019). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas atuando nos trópicos (Figura 5). Ferreira e Mello (2005) definem ZCIT como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, gerando intensa atividade convectiva e precipitação pluviométrica. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de clima em diversas áreas, além de sua posição poder determinar anos secos ou chuvosos nas regiões brasileiras.

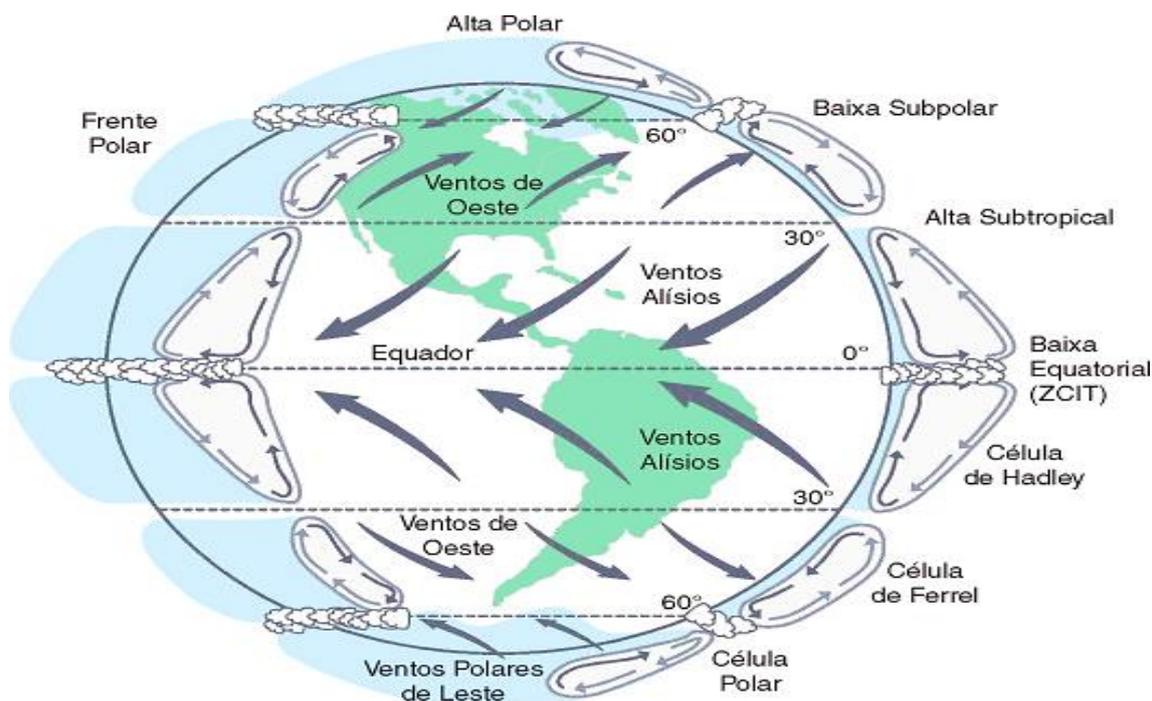
Figura 5 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na imagem dos satélites GOES+METEOSAT, 2009.



Fonte: AMORIM *et al.*, 2015.

Nobre (2014) destacou a existência de três cinturões de vento e chama atenção para seus arranjos e simetrias nas distribuições, um ao redor da linha do Equador e outros dois de desertos, ao redor dos trópicos de Câncer e Capricórnio. Na região equatorial, o aquecimento solar causa a ascensão do ar e formação de muitas nuvens e de chuva. Depois de subir, o ar desloca-se em direção aos polos em ambos os hemisférios. Durante o deslocamento, este sofre resfriamento, o que o torna mais denso e gera movimentos subsidentes (de cima para baixo). Ao atingir a superfície, este ar forma um ramo que se move para os polos e outro que retorna para o equador (Figura 6). Este último faz parte de uma célula de circulação fechada chamada Célula de *Hadley*. Como a Terra está em rotação, os ventos que se dirigem para o equador são defletidos (no Hemisfério Sul para a esquerda do movimento e no Hemisfério Norte para a direita) formando os ventos alísios de sudeste no Hemisfério Sul e os de nordeste no Hemisfério Norte (REBOITA *et al.*, 2012).

Figura 6 - Representação esquemática da circulação geral da atmosfera



Fonte: Dereczynski e Menezes, 2015.

Em relação à circulação atmosférica sobre a região tropical, nota-se que esta é fortemente modulada e modificada pelos padrões termodinâmicos sobre as bacias dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Anomalias positivas ou negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas bacias desses oceanos, são ocasionadas por perturbações nas células de *Hadley* e de *Walker*, quando ocorre no sentido norte-sul, e de *Walker*, quando se faz no sentido Leste-Oeste, respectivamente, podendo ocorrer também simultaneamente (FERREIRA; MELLO, 2005; COSTA; BLANCO, 2018). Verifica-se que mudanças de larga escala na circulação de *Walker*, com deslocamento para leste desta célula, fazem com que a porção descendente seja sobre o nordeste do Brasil e o norte da Amazônia. Essa alteração de circulação também afeta a célula de *Hadley*, contribuindo para a redução das chuvas na região norte amazônica (KAYANO *et al.*, 2009; ROPELEWSKI; HALPERT, 1989; 1996).

Castro (1999) caracteriza os fenômenos em três tipos: os naturais, aqueles provocados por fenômenos naturais extremos, os quais independem da ação humana; os humanos, causados pela ação humana, como a contaminação de rios, e os desastres mistos que estão associados às ações ou omissões humanas, podendo contribuir para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais. Neste contexto, os fenômenos climáticos podem estar enquadrados dentro dos fenômenos mistos, visto que suas ocorrências são

naturais e suas interações com a atmosfera e oceanos acontecem há milhares de anos. No entanto, ações antrópicas contínuas e cada vez mais intensas podem acelerar seus processos e episódios.

Os fenômenos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais recorrentes em diversas regiões do globo. Com relação a Amazônia, é importante avaliar de forma adequada como o sistema amazônico reage às mudanças, sejam elas naturais ou antrópicas para avaliar como estas podem impactar a região. Loureiro *et al.* (2015) destacaram que a região amazônica possui um regime de precipitação com fortes influências de sistemas atmosféricos dinâmicos.

De acordo com Moura e Vitorino (2012) na região tropical, a precipitação está relacionada à atuação de fenômenos meteorológicos de diferentes escalas de tempo, que são modulados por mecanismos oceano-atmosfera que determinam a quantidade pluviométrica das regiões equatoriais. Entre os principais fenômenos estão o ENOS e o Dipolo do Atlântico, os quais diferentes fases favorecem ou desfavorecem a atividade convectiva em áreas tropicais. Os períodos de duração de secas e enchentes vão depender do período de atuação, duração, intensidade destes fenômenos. Os episódios podem ser considerados muito fracos, moderados e fortes dependendo do valor de medição da temperatura da água do mar e seus períodos de atuação (ARAGÃO, 1990).

Ainda segundo Oliva (2019), uma das principais fontes de variabilidade interanual do clima global é representada por uma oscilação acoplada oceano-atmosfera que produz alterações na TSM e atua, em especial, no Oceano Pacífico, o fenômeno ENOS, o qual possui duas fases de ocorrência, o El Niño, responsável pelo aquecimento das águas e a La Niña, que corresponde a fase de resfriamento das águas. Os períodos que não possuem alterações significativas na TSM são chamados de fases “Neutras” (SATHICQ *et al.*, 2015).

Outro fenômeno que pode atuar sobre o clima da Amazônia é o Dipolo do Atlântico, caracterizado por um aquecimento do Atlântico Tropical Norte relativo ao Sul, gerando uma mudança para o norte e oeste da ZCIT, resultando na diminuição das precipitações na região. Contudo, um aumento da TSM do Atlântico Sul em relação ao norte leva a formação de chuvas mais intensas (FU *et al.*, 2001). Essas mudanças que ocorrem no Atlântico Tropical levam à configuração de um “dipolo” de anomalias assimétricas de TSM com relação ao equador (COSTA, 2016).

2.1.1.1 El Niño Oscilação Sul – ENOS

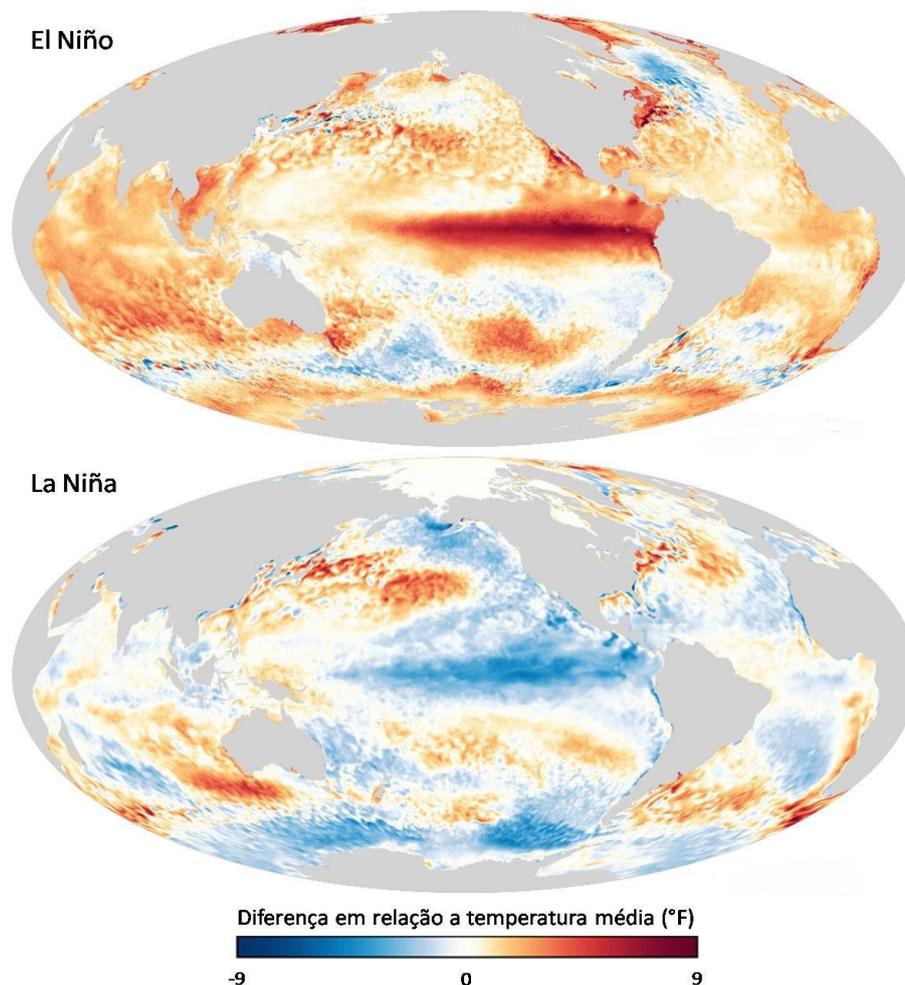
O El Niño Oscilação Sul é um fenômeno de escala global composto por uma componente oceânica, responsável pelo aquecimento ou resfriamento das águas, diretamente ligadas a TSM, no Oceano Pacífico Tropical, e outra atmosférica, relacionada a alteração da circulação atmosférica, pressões e deslocamento da região de máxima atividade convectiva, podendo ocorrer do Pacífico Oeste para o Central ou em sentido contrário, conforme a fase do evento (PINTO *et al.*, 2003).

O ENOS altera as fontes de aquecimento atmosférico, e conseqüentemente, a circulação atmosférica e o clima global. Diferenças de temperatura entre o lado Leste e o Oeste do Oceano Pacífico, resultam em diferenças de pressão atmosférica na superfície da célula de *Walker* no sentido Leste-Oeste, com ascensão de ar na parte oeste do Pacífico Tropical, gerando nesta área ocorrências maiores de chuvas e, de maneira oposta, a parte leste, próxima à costa da América do Sul, uma região de chuvas menos frequentes (CUNHA, 1999). A ocorrência do ENOS causa perturbações climáticas e impactos que podem influenciar diretamente nos regimes de precipitação das regiões e, dependendo das intensidades dos fenômenos, podem resultar em severas secas (MOLION; BERNARDO, 2002).

O conhecimento da distribuição espaço-temporal das chuvas é indispensável para melhor gerenciamento dos recursos hídricos durante os períodos secos, e para as tomadas de decisão pertinentes à defesa civil, durante fenômenos de chuvas excessivas. Neste contexto, maior importância deve ser dada às estiagens e às chuvas em excesso, associadas aos fenômenos de grande escala, como o ENOS que afeta a circulação geral da atmosfera (MINUZZI *et al.*, 2005).

Este fenômeno pode apresentar-se em duas fases, como na Figura 7, a fase quente (positiva) e a fase fria (negativa). A fase quente ou fase positiva é chamada de El Niño e se caracteriza por um aquecimento das águas e uma diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste. A fase fria ou fase negativa, chamada de La Niña, provoca um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica na região (BERLATO; FONTANA, 2003; GRIMM *et al.*, 1998).

Figura 7 – Fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS) - El Niño de 2015/2016 e La Niña de 1999/2000

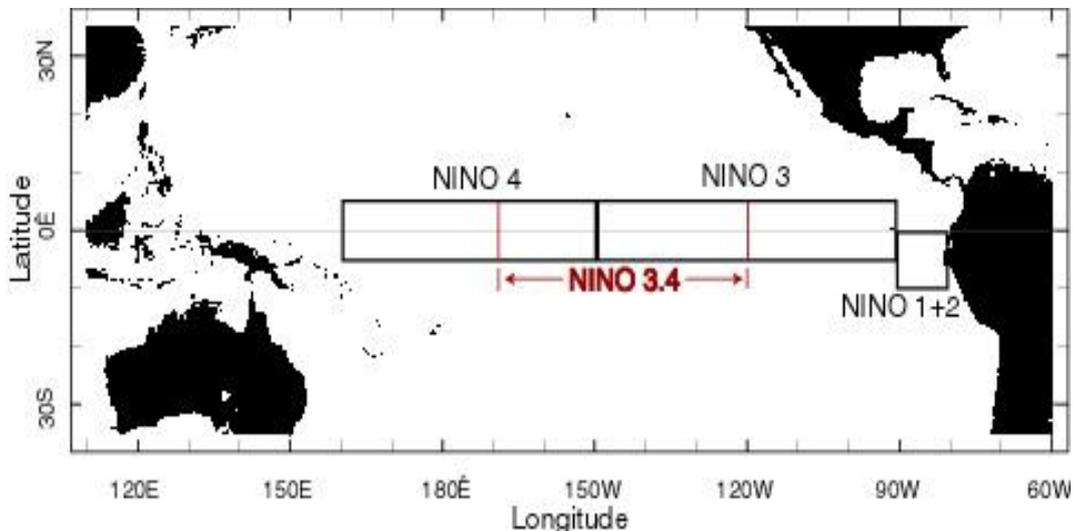


Fonte: climate.org

As fases e intensidades do fenômeno são classificadas conforme critérios apresentados no *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, através do Índice Oceânico Niño (ION) qual, identifica as anomalias na Temperatura da Superfície do Mar, no Oceano Pacífico, através de uma média móvel de três meses. Quando o IOS for maior que $+0,5$ °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos o período é caracterizado como El Niño e quando o índice for menor que $-0,5$ °C por, no mínimo, cinco meses consecutivos o período é caracterizado como La Niña (NOAA, 2021).

A TSM é coletada em quatro regiões do Pacífico, sendo a região mais utilizada para o monitoramento das águas a chamada de Niño 3.4, ilustrada na Figura 8:

Figura 8 – Regiões de monitoramento da temperatura da superfície do mar



Fonte: <https://www.climatedatalibrary.cl/maproom/ENSO/Diagnostics.html>

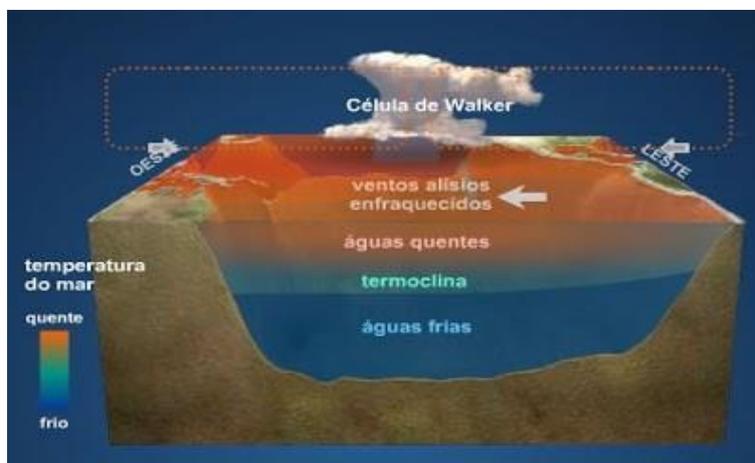
Ressalta-se que as anomalias de TSM no ocorridas no Oceano Pacífico associadas aos episódios de ENOS produzem circulações de grande escala na atmosfera, gerando impactos significativos no clima da região do Atlântico e da América do Sul (ARAÚJO *et al.*, 2013). O aumento da TSM do Atlântico Sul leva a produção de chuvas mais intensa, enquanto uma diminuição da TSM leva a um decaimento da intensidade das chuvas. Foley *et al.* (2002) afirmam que é importante notar que o ENOS não é o único modo importante de variabilidade climática na bacia amazônica. Dessa forma, as ocorrências de outros fenômenos podem ser levadas em consideração, visto que também podem alterar as circulações e características do funcionamento climático.

Nota-se que o fenômeno ENOS modula a precipitação anual, através de múltiplas escalas de tempo, assim o monitoramento e a previsão climática deste fenômeno são de fundamental importância para a mitigação dos impactos socioeconômicos causados na região amazônica (SOUSA *et al.*, 2015). Foley *et al.* (2002) também analisaram a variabilidade climática na bacia amazônica durante fenômenos de ENOS, baseado em séries de dados pluviométricos de 1950 a 1995, concluindo que em geral durante a ocorrência de um El Niño, a precipitação tende a ser menor que a normal, enquanto durante a ocorrência de um evento La Niña, a precipitação tende a ser maior que a normal.

A fase conhecida como El Niño, representado na Figura 9, caracteriza-se por um aquecimento anormal verificado nas águas superficiais do Oceano Pacífico, especialmente na região equatorial (KIYUNA; ASSUMPÇÃO, 2001). Em anos de El Niño, há um enfraquecimento dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, havendo o deslocamento do ramo ascendente da célula de *Walker* para a parte central do Oceano Pacífico e as águas anormalmente quentes do Oceano Pacífico Tropical chegam a atingir a costa da América do Sul, na altura do Peru e do Equador. O ar ascendente gerado no processo faz com que a esta costa oeste experimente chuvas acima da normalidade.

Na fase La Niña (Figura 10), ocorre o inverso, ou seja, um aumento na intensidade dos ventos alísios. Há uma intensificação nas condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico, a célula de *Walker* se intensifica, os ventos sopram com mais intensidade, causando um aumento no carregamento das águas quentes para oeste, resultando em chuvas abaixo do normal na costa da América do Sul. (BERLATO; FONTANA, 2003). A ausência dessas duas fases é intitulada de neutralidade atmosférica (MOHAMMADI; GOUDARZI, 2018).

Figura 9 - Caracterização de ocorrência do fenômeno El Niño



Fonte: CPTEC/INPE, 2020.

Figura 10 - Caracterização de ocorrência do fenômeno La Niña



Fonte: CPTEC/INPE, 2020.

Marengo (1992) sugere que a diminuição da precipitação no norte da Amazônia tende a coincidir com fenômeno El Niño fortes ou muito fortes, como os que ocorreram em 1912, 1926, 1983 e 1987. O impacto causado pelo fenômeno El Niño ou La Niña, dependendo da sua intensidade pode resultar em secas ou enchentes severas, interferindo de forma significativa nas atividades econômicas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Estudando o regime hidrológico da bacia do Rio Negro, Santos *et al.* (2005) concluíram que o fenômeno El Niño atrasa o mês de menor vazão ao longo da bacia e o La Niña antecipa o mês de maior vazão. Rodrigues *et al.* (2017) ressalta que os fenômenos de El Niño, independente da sua magnitude, não explicam sozinhos os anos secos, assim como os fenômenos de La Niña não estão associados, necessariamente, a anos chuvosos.

Os maiores impactos observados na região amazônica, causados pelos fenômenos ENOS são as mudanças nos regimes pluviométrico e fluviométrico. Os eventos de inundação e seca causam mudanças na frequência e intensidade da precipitação. Nesse contexto, monitorar as variáveis climáticas ao longo do tempo é essencial para prevenir a previsão de eventos extremos. Ao observar essas variáveis em conjunto com os fenômenos ENOS, é possível compreender a variabilidade desses fenômenos. (MOURA *et al.*, 2019).

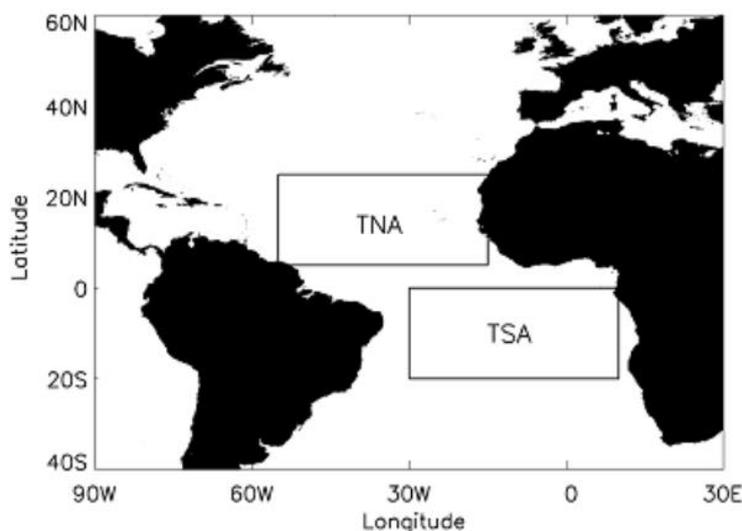
2.1.1.2 Dipolo Do Atlântico

O Dipolo do Atlântico é o fenômeno oceano/atmosférico identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície água do mar no Oceano Atlântico Tropical, ou seja, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as

águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias existem movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre a região, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, fase positiva. Ao contrário, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, existe aumento nos movimentos ascendentes sobre as regiões, intensificando a formação de nuvens e aumentando os índices pluviométricos, fase negativa (NÓBREGA *et al.*, 2016).

A *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* realiza a medição de dois índices que compõem o Padrão do Dipolo, o TNA (*Tropical Northern Atlantic*) e o TSA (*Tropical Southern Atlantic*), estes são calculados com base na anomalia média de TSM em cada região (Figura 11). O Dipolo do Atlântico possibilita a ocorrência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais influenciam bastante na posição latitudinal da ZCIT, alterando assim a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, parte norte do Nordeste do Brasil, até a parte central da Amazônia (NOBRE; HUKLA, 1996).

Figura 11 - Áreas do oceano Atlântico Tropical que foram calculados os TNA e TSA, associadas ao Padrão de dipolo de anomalias de TSM no Atlântico



Fonte: UK Meteorological Office, 2016.

As fases do Dipolo interferem no posicionamento da ZCIT, cujo eixo principal tende a posicionar-se sobre a região para onde está direcionado o gradiente térmico. Na fase positiva do Dipolo, com anomalias positivas de TSM na Bacia Norte e negativas na Bacia Sul, o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Norte e, conseqüentemente, as

anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT posicionam-se, predominantemente, ao norte do Equador. Por outro lado, na fase negativa do Dipolo, quando ocorrem anomalias negativas de TSM na Bacia Norte e positivas na Bacia Sul, o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Sul e as anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT tendem a posicionar-se, predominantemente, ao sul do Equador.

2.2 RECURSOS HÍDRICOS E A VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Nos estudos de Grimm e Tedeschi (2009), foi observada a influência dos fenômenos ENOS sobre a frequência de extremos de vazão na América do Sul, na região das bacias do Paraguai e Uruguai, ressaltando que a diminuição ou aumento de vazão está relacionado com a ocorrência de fenômenos El Niño ou La Niña, respectivamente. Cunha *et al.* (2002) destacam que os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos são sentidos tanto na oferta como na demanda, ou seja, modificações na precipitação provocam uma variação na distribuição temporal dos recursos hídricos.

Binder (2006) destacam que na região nordeste do Pacífico já são identificados problemas relacionados às mudanças climáticas como aumento da precipitação durante o inverno e reduções nos verões e nas primaveras e, conseqüentemente, refletindo na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas desta região nos Estados Unidos, requerendo planejamentos para os diversos usos da água nestas localidades. Na América do Sul, os efeitos típicos do El Niño são secas na região Leste da Amazônia e no Nordeste do Brasil, e chuvas na região Sul (DIAS, 2006).

Segundo Marengo (2003), possíveis reduções na disponibilidade de recursos hídricos no Brasil poderiam ser esperadas devido a possíveis El Niño's mais intensos, especialmente no Norte e Nordeste. Para toda a região Norte, uma elevação do nível do mar aumentará significativamente a propagação das marés nos rios. O aumento do nível médio do mar poderá trazer conseqüências para os ecossistemas e populações humanas nas áreas costeiras e nas áreas ribeirinhas que sofrem influência das marés (NOBRE, 2010).

Na Amazônia, o regime de chuva não é homogêneo quando associado à influência de diferentes sistemas. Ropelewski e Halpert (1987) analisaram 17 eventos El Niño, e destes, 16 coincidiram com os anos mais secos na região norte da Amazônia. Contudo, anos secos podem ocorrer na região quando não há El Niño, o que mostra que há outros fatores que influenciam a precipitação da Amazônia. É evidente a grande variedade de

mecanismos que influenciam os padrões de chuvas sobre o Brasil e, conseqüentemente, impactam no regime de vazão (CAPOZZOLI *et al.*, 2017).

O ciclo anual das chuvas e de vazões no Brasil varia entre bacias e a variabilidade interanual do clima, associada aos fenômenos de El Niño ou La Niña ou à variabilidade na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical Sul podem gerar anomalias climáticas que produzem grandes secas, como nos anos de 1926, 1983, 1998 e 2005, na Amazônia. No entanto, é importante notar que o ENOS e o Dipolo do Atlântico não são os únicos modos importantes de variabilidade climática na bacia amazônica.

Por ser um país de grande variabilidade hidrológica, o Brasil necessita obter conhecimentos eficazes sobre os possíveis cenários climático-hidrológicos futuros, além da criação de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos plenamente adaptados às condições climáticas e hidrológicas atuais, podendo assim auxiliar no aperfeiçoamento de modelos hidrológicos para prever eventos futuros potencialmente danosos. Costa *et al.* (2021) apontam que entender os efeitos da variabilidade climática sobre o ciclo hidrológico é crucial para o governo, visando a criação de planos de desenvolvimento, principalmente porque eventos hidroclimáticos extremos podem ter uma forte influência não somente a área ambiental, mas também sobre questões socioeconômicas.

2.2.1 Eventos hidrológicos extremos e os impactos socioambientais

Para Feitosa (2013), os eventos climáticos extremos são ocorrências que, geralmente, apresentam rara incidência, se distanciando da Média Normal Climatológica (MNC), variando em sua magnitude e tempo de ocorrência, podendo estar associados às precipitações, onde seus totais de chuvas em certo intervalo são muito inferiores ou superiores à MNC. Nesse contexto, podemos destacar as ocorrências de eventos extremos na região amazônica, com ênfase as secas dos anos de 2005 e 2010, além das cheias em 2009, 2012 e mais recentemente no ano de 2021.

Pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011) concluíram que a seca de 2010 foi a mais drástica já registrada, superando a de 2005, anteriormente considerada a maior do século. Em 2005, notou-se uma estiagem mais severa durante todos os meses do ano. Nos meses de verão deste ano, os níveis do Rio Negro foram em média de 1,5 a 2 metros acima do normal, e a partir de agosto os valores chegaram até 4 metros abaixo da normalidade. Em 2010, a seca provocou redução da

precipitação em uma área de 3 milhões de quilômetros quadrados da floresta, mais do que os 1,9 milhões de quilômetros quadrados afetados em 2005 (MARENGO *et al.*, 2011). As Figuras 12 e 13 ilustram as secas severas ocorridas nos anos de 2005 e 2010 no estado do Amazonas.

Figura 12 - Seca no município de Tefé (AM), 2005.



Fonte: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2210201002.htm>

Figura 13 - Seca no Rio Negro (AM), 2010.



Fonte: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/08/amazonia-enfrentou-em-2010-maior-seca-da-historia-diz-estudos-do-inpe.html>

Em 2010, as temperaturas do mar atingiram os valores mais elevados da história na região do Atlântico Tropical Norte. A combinação das condições de El Niño no Pacífico com o aumento da TSM no Oceano Atlântico Tropical Norte reforça as

condições de subsidência sobre a Amazônia, as quais são desfavoráveis para a ocorrência de precipitação. Nessa ocasião, o fenômeno causou graves problemas socioambientais, especialmente às populações ribeirinhas, por dependerem dos rios da região para suas atividades (COELHO *et al.*, 2013). Os estudos realizados por Ambrizzi *et al.* (2007), destacaram para América das Sul mudanças climáticas mais intensas no final do Século XXI, acontecendo na região tropical, especificamente na Amazônia, Peru e Equador e no Nordeste do Brasil.

A Amazônia também foi afetada por enchentes, como a de 2009 que, segundo Marengo *et al.* (2012), ocorreu devido a migração anômala da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) durante maio e junho de 2009, pelo aquecimento anômalo das águas da superfície do Atlântico Sul, fazendo com que a vazão coincidisse com os picos de inundações dos afluentes do sul. No entanto, em 2012, ocorreram chuvas torrenciais no Norte e Leste da Amazônia, provocando cheias no rio principal e em seus afluentes. Neste ano, o Rio Negro chegou a uma cota nunca vista nos últimos 107 anos, e as chuvas no norte e noroeste da Amazônia começaram com um período mais longo que o normal. (COUTINHO *et al.*, 2017).

Em 2012 ocorreu uma forte enchente na Bacia Amazônica, com águas frias no Atlântico Sul e ligeiramente quentes no Atlântico Norte, registrando uma convergência de umidade 38% acima dos valores da climatologia (SATYAMURTY *et al.*, 2013). Marengo *et al.* (2013) estudaram a grande enchente de 2012 na Amazônia durante o verão austral, e detectaram mudanças na circulação atmosférica, precipitações consistentes e águas mais frias do que o normal no Pacífico equatorial. 12 A maioria das cheias extraordinárias ocorreu 80% em anos de La Niña e 20% em anos de El Niño (REBELO, 2013).

Filizola *et al.* (2014) afirmaram que a enchente de 2009 mostrou uma nova forma de lidar com os riscos e desastres na bacia amazônica, pois mais de 238 mil moradores de 38 municípios foram afetados causando um efeito drástico na população local. Os estudos de Guimberteau *et al.* (2013), discutiram as mudanças climáticas e a hidrologia da Amazônia, e debateram a forma como a população é fortemente afetada por eventos extremos, principalmente os associados à precipitação. Conforme Coutinho *et. al* (2017), as variações das componentes do balanço hídrico, como a vazão, precipitação ocorrem no tempo e no espaço, e quando associadas com eventos extremos pluviométricos, ocasionam ameaças às populações, principalmente as com maior vulnerabilidade,

causando assim riscos socioeconômicos e ambientais, causando danos irreversíveis à população.

Mais recentemente, a cheia do Rio Negro, em 2021, alcançou 30,02 metros. Segundo Serviço Geológico do Brasil (SG-CPRM, 2021), o que determina a magnitude dessas cheias é a chuva que ocorre em todas as bacias que drenam para essa região, como a bacia do Negro, do Solimões e todos os seus afluentes incluindo suas áreas externas ao Brasil, na Colômbia, Peru e Equador. O Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental registrou no dia 18 de junho de 2021 que, em Manaus, o rio segue em processo de inundação severa, mantendo seu nível aproximadamente constante ao longo das últimas semanas. Nos últimos dias, o rio Negro apresentou uma pequena subida da ordem 3 cm que, no entanto, não representa indícios de que o rio continue subindo. A cota máxima atingida (30,02 m) também representa a maior cheia de toda a série histórica da estação, como mostrado nas Figuras 14 e 15:

Figura 14 - Casa tomada pelas águas do Rio Negro, em Manaus, 2021.



Fonte: <https://projetcocolora.com.br/ods13/cheia-do-rio-negro-bate-recorde-historico-e-atinge-450-mil-pessoas/>

Figura 15 – Cheia do Rio Negro, em Barcelos, 2021.



Fonte: <https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/enchente-no-rio-negro-barcelos-am-tambem-registra-recorde-historico>

Episódios extremos reforçam a hipótese de que anomalias no regime pluviométrico e de temperatura serão mais frequentes em cenários futuros de mudanças climática (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC, 2011). Para que os riscos socioeconômicos e ambientais, associados aos eventos extremos sejam controlados e conhecidos, políticas públicas efetivas e direcionadas devem ser aplicadas, independentemente da localidade.

Em concordância com Marengo (2008), o conhecimento sobre possíveis cenários climático-hidrológicos pode ajudar a estimar demandas de água no futuro e a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para o futuro. Seyler *et al.* (2009) ressaltam que o monitoramento hidrológico deveria ser uma forma de antecipar tais eventos, porém, dadas as dimensões das bacias e os custos de logística para a manutenção continuada das estações, a realização de ações torna-se dificultosa, impedindo a geração de alertas preventivos para as comunidades e cidades que podem ser afetadas tanto pelos eventos mais chuvosos quanto pelos de escassez hídrica.

Eventos como as secas dos anos de 2005 e 2010, e as cheias de 2012 e 2021, ocorridos na Amazônia, comportamentos vinculados a ocorrência de ENOS (El Niño) e a Dipolo do Atlântico (fase positiva), fortes moduladores da precipitação na Amazônia, salientam que o monitoramento hidrológico associado as ocorrências de fenômenos climáticos extremos, tornam-se ferramentas potenciais que podem ser utilizadas com

antecipação quando limites críticos de vazão e precipitação forem atingidos, baseando-se em acontecimentos de anos anteriores, além do conhecimento de características específicas dos fenômenos, como duração, intensidades e frequências, auxiliando a emissão de alertas, a análise de risco, preparação para o enfrentamento e a tomada de decisão, visto a necessidade de tempo hábil para a aplicação das medidas cabíveis para evitar ou reduzir possíveis desastres.

3 HIPÓTESES

Nessa dissertação são discutidas duas hipóteses:

H0.1: Os fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico, causados por alterações na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial e no Oceano Atlântico Tropical, respectivamente, não exercem influência sobre as intensidades e períodos pluviométricos no regime hidrológico do Médio Rio Negro (Amazonas).

H0.2: Os fenômenos climáticos com efeitos em escala global ENOS e Dipolo do Atlântico e a variabilidade climática local não causam modificações similares sobre o regime hidrológico no Médio Rio Negro.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência dos fenômenos climáticos globais: El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico, sobre as vazões na região do Médio Rio Negro, verificando o grau de possível interferência entre os fenômenos e a variabilidade climática local, através da precipitação.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar uma curva de permanência e classificar as vazões em máximas (até 5%) e mínimas (a partir de 95%) para verificar os possíveis efeitos dos fenômenos climáticos sobre disponibilidade hídrica da região;
- Realizar a comparação pontual entre as ocorrências das vazões coincidentes com os fenômenos na série histórica, entre os anos de 1978 e 2017;
- Classificar as ocorrências dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico na série histórica, de acordo com os índices climáticos ION e GIH (TNA-TSA);
- Analisar as relações entre as modificações causadas pelos fenômenos e precipitações locais sobre as vazões;
- Verificar o grau de concordância entre as vazões na região e a precipitação local.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS HIDROLÓGICOS

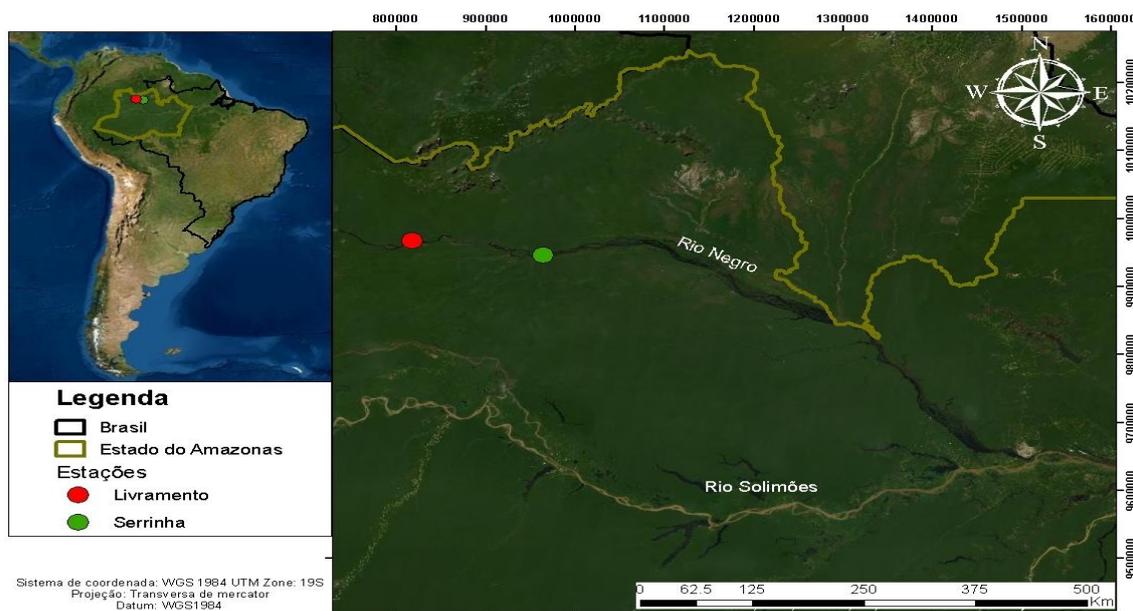
Foi definido para essa pesquisa, o trecho do Rio Negro entre os municípios de São Gabriel da Cachoeira e Barcelos, localizados ao Norte do Estado do Amazonas. Esta delimitação buscou concentrar a análise em uma área de contribuição, que não sofresse influência de outros grandes rios da região. A contextualização do trecho torna-se necessária em razão dos municípios estarem inseridos na Bacia do Rio Negro.

São Gabriel da Cachoeira é banhado pelo rio Negro e fica localizado na região conhecida como cabeça do cachorro, por seu território ter formato semelhante, e distante cerca de 850 km de Manaus, capital do Amazonas. Com área territorial de 109.181,245 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2021). A economia do município baseia-se na agricultura de subsistência, com atividades relacionadas ao plantio de mandioca, banana, abacaxi, açaí, limão, entre outros. É preciso levar em consideração que a economia local se locomove também em função dessa relação com a floresta e o rio. Em 2021, a enchente do Rio Negro preocupou os moradores e trouxe estragos com a invasão de ruas e moradias. Estudos realizados na localidade constataram um desequilíbrio ecológico que inclui sumiço de espécies (minhoca daracubi), ausência do fenômeno da piracema (período de reprodução dos peixes) e impossibilidade de abertura das roças, pela falta de sol, afetando as atividades e, conseqüentemente, a economia.

No final do trecho, o município de Barcelos pertence à bacia hidrográfica do Rio Negro, está localizado a 496 km de Manaus, com área territorial de 122.461,086 km² (IBGE,2021). A área é identificada como planície amazônica, onde se destacam furos e depósitos lineares fluviais. A economia gira em torno da produção agrícola baseada nas culturas de banana e arroz. O peixe ornamental corresponde a renda de mais de 60% da população do município, além do ecoturismo e da pesca esportiva (BARCELOS, AM, 2022). A formação geomorfológica associada à diversidade hidrogeográfica, rios de águas brancas e pretas, dão singularidade ao município permitindo a formação do maior arquipélago do mundo, de Mariuá. Assim como em São Gabriel da Cachoeira, Barcelos sofreu com a enchente do Rio Negro, alcançando a cota de 10,33 metros, a população relatou perdas de casas e roças, que trouxeram enormes prejuízos socioeconômicos.

A estação fluviométrica de Serrinha (código 14420000), situa-se no município de Santa Izabel do Rio Negro, com coordenadas geográficas de Latitude $-0,48$ S e de Longitude $-64,83$ W, e a estação pluviométrica de Livramento (código 66000) em São Gabriel da Cachoeira, com coordenadas de Latitude $-0,29$ S e de Longitude $-66,15$ W, ambas no Médio Rio Negro (AM), fornece os dados de precipitação local usados na análise. A Figura 16 localiza as estações no mapa.

Figura 16 - Mapa - Localização da estação fluviométrica de Serrinha, Santa Izabel do Rio Negro – AM e da estação pluviométrica do Livramento, São Gabriel da Cachoeira – AM.



Fonte: Autora, 2021.

As estações fluviométricas são capazes de realizar medições e monitoramentos de variáveis de um curso d'água, como os níveis d'água e as descargas (ou vazões) líquidas de rios, lagos ou bacias hidrográficas. As estações pluviométricas medem dados de precipitação, ou seja, quantidade e intensidade de chuvas em um determinado local. Por meio dos dados das estações é possível monitorar eventos considerados críticos, como cheias e estiagens, disponibilizar informações para a execução de projetos, identificar o potencial energético e levantar as condições dos corpos d'água (Agência Nacional de Águas – ANA, 2022).

Os dados fluviométricos e pluviométricos utilizados no estudo foram obtidos do Portal *HidroWeb* e a série temporal utilizada foi de 40 anos (1978 a 2017). O manuseio e organização dos dados foram realizados com utilização do *Software Microsoft Excel* por

meio da criação de planilhas eletrônicas, verificando assim a variabilidade espacial e temporal ao longo da bacia.

A bacia do Rio Negro possui uma área de aproximadamente 712.000 km² e vazão média anual de 30.000 m³/s, estendendo-se por parte do Brasil, Colômbia, Guiana e Venezuela, com cerca de 82,8 % em território brasileiro. O Rio Negro é formado pela confluência dos rios Uaupés e Içana, a partir desse ponto recebe contribuições de afluentes, na margem direita, os rios Curicuriari, Marié, Uneiuxi, Unini e Jaú, e na margem esquerda, destacam-se os rios Cauaburi, Padauari, Demini, Jauaperi e, principalmente, o rio Branco. Próximo à cidade de Manaus, há confluência do Rio Negro com o rio Solimões, formando o rio Amazonas (ESCARIÃO, 2001). O Rio Negro é o segundo maior contribuinte em volume de água para o Rio Amazonas e o sexto maior do mundo em volume de água (LATRUBESSE *et al.*, 2005).

O Rio Negro é o maior ecossistema de águas pretas da bacia Amazônica, com pouca carga sedimentar sendo transportada, em comparação ao Solimões, sua coloração escura deve-se à matéria orgânica dissolvida proveniente da decomposição da floresta (HORBE; OLIVEIRA, 2008; SIOLI, 1965). A matéria orgânica dissolvida transportada possui papel importante na absorção e redução da luz na coluna d'água, bem como na produção de dióxido de carbono (CO₂), via processo de foto-oxidação (COBLE, 2007).

Com relação aos biomas, verifica-se que a distribuição espacial de áreas úmidas sobre a bacia do Rio Negro, se destaca a grande extensão de vegetação alagada a partir da estação hidrométrica de Serrinha, nos tributários que deságuam no arquipélago de Mariuá (Barcelos) e no médio e baixo Rio Branco. Sua origem está associada à terrentos de planaltos produz um comportamento hidrológico marcado inicialmente por um intenso escoamento, que ao se aproximar da região de planície, já com sua confluência com o rio Branco, sofre modificação pela ampliação da área de escoamento e pelo efeito da confluência com o rio Solimões (INPA, 2012).

O clima é um importante controlador dos fluxos de água e matéria em um sistema fluvial. Nessa perspectiva, a vazão do Rio Negro está relacionada com as áreas que mais recebem precipitação dentro da bacia Amazônica, e de forma geral, a abundância de precipitação é fortemente relacionada à posição média da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), estabelecida durante o verão austral no noroeste amazônico, distribuindo-se até o Atlântico Sul subtropical (MARINHO, 2019).

À vista disso, salienta-se que diversos fenômenos climáticos atuam sobre a Amazônia e suas bacias, mais especificamente sobre as vazões e precipitações na bacia do Rio Negro. Os mais conhecidos e recorrentes, principalmente nos últimos anos é o ENOS, em suas fases, El Niño (fase positiva) e La Niña (fase negativa). O período de níveis mínimos da água destes sistemas coincide com a ocorrência de anomalias negativas de precipitação nas cabeceiras do rio negro, associadas aos eventos de El Niño que tornam o igapó vulnerável a incêndios (FLORES *et al.* 2014, RESENDE *et al.*, 2014). No entanto, outros fenômenos podem influenciar na disponibilidade hídrica da região, entre eles estão a Alta da Bolívia, Friagens e Linhas de Instabilidade.

5.2 ELABORAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanência atribuem um nível de probabilidade de excedência a um determinado evento e, por essa razão, são úteis em estudos ambientais. São curvas de frequência acumulada empregadas para descrever a vazão de um determinado sistema hídrico e avaliar a disponibilidade frente às demandas de um rio, de acordo com uma abordagem quantitativa (CUNHA *et al.*, 2012). A disponibilidade hídrica é entendida como a parcela de vazão que pode ser utilizada pela sociedade e para seu desenvolvimento (CRUZ; TUCCI, 2008).

A curva de permanência proposta pode ser utilizada como forma de avaliação dos efeitos ocasionados pelas mudanças climáticas, sendo construída para o conhecimento das frequências das vazões para do Médio Rio Negro, delimitado no estudo, auxiliando na análise dos dados de vazão diários (m^3/s). O enquadramento para as vazões foi classificado nas Q5 e Q95, máximas e mínimas, respectivamente, ou seja, a vazão denominada Q5%, corresponde a vazão que está presente no rio durante, pelo menos, 5% do tempo, no mesmo sentido, a Q95% representa a vazão presente em, pelo menos, 95% do tempo, buscando localizar e identificar as principais vazões.

Foi estabelecida ainda uma classificação para o enquadramento das vazões na série de dados diárias, e sendo esta uma amostra elevada de dados, houve a separação em cinco intervalos iguais divididos em porcentagens de 20 (%) para cada agrupamento, com suas particularidades individuais, visando observar suas representatividades nas vazões e organizar os valores de maneira decrescente para uma melhor compreensão entre a magnitude e frequência com que essas vazões são igualadas ou superadas no período determinado no estudo.

Por se tratar de associar frequências de ocorrências às vazões, uma alternativa é ordenar todos os valores de vazão em ordem decrescente e a cada valor uma frequência de excedência (FENNESSEY; VOGUEL, 1990; JACOBS; VOGUEL, 1998). Para caracterizar as probabilidades, determinar as características e tendências de confiabilidade das curvas de permanência foi realizada a análise de *Weibull* (Clarke, 1993), sendo uma distribuição de probabilidade flexível e uma das mais empregadas em análises de confiabilidade e planejamento. O ordenamento agrupou o número total de vazões diárias $q(i)$ da série histórica. Em seguida, foi realizado o cálculo utilizando a Equação 1:

$$P_i = \frac{i}{n+1} \quad (1)$$

Sendo:

P_i = probabilidade de ocorrência de $q(i)$

i = o número de ordem do valor ordenado de vazão

n = o número de dados ordenados

O estudo da vazão de uma bacia hidrográfica é imprescindível para a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. Quando não há conhecimento da disponibilidade hídrica, existem dificuldades em gerenciar os diversos usos da água em uma bacia hidrográfica. Dessa forma, após a realização dos cálculos por meio da distribuição de *Weibull* e de posse da curva, pode-se verificar a relação entre a vazão e a frequência com que esta é igualada ou superada, localizando as vazões diárias e sequenciando-as na série histórica.

5.3 ÍNDICES CLIMÁTICOS DO ENOS

O fenômeno ENOS pode ser quantificado pelo Índice de Oceânico do Niño (ION), esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica, consequência do aquecimento ou resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos de ION são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña, respectivamente (OLIVEIRA, 2001). A coleta dos índices foi realizada conforme os anos de abrangência da série histórica da pesquisa, ou seja, entre os anos de 1978 até 2017, junto ao *Climate Prediction Center (CPC)* e do *National Weather Service* gerenciado pela *NOAA*, identificando as anomalias de TSM no Oceano Pacífico através de uma média móvel de

três meses, levando em consideração, o mês centralizado ao qual o índice se refere, tendo como exemplo Costa (2016) e Souza *et al.* (2021).

O Quadro 1 apresenta os valores mensais de ION, sendo os dados em azul os anos de ocorrência de La Niña, os anos em vermelho os de El Niño e em preto os anos neutros, sem ocorrência dos fenômenos.

Quadro 1 - Valores de ION de 1978 a 2017

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1978	0,7	0,4	0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,0
1979	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6
1980	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0
1981	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
1982	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,7	0,8	1,1	1,6	2	2,2	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1	0,7	0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1,0	-0,9
1984	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4
1986	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,2	1,1	0,9	1	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,1	-1,2	-1,5	-1,8	-1,8
1989	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5
1992	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	1	1,1
1995	1	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4
1998	2,2	1,9	1,4	1	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7	1	1,4	1,6
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,0
2012	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6
2016	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0

Fonte: NOAA, 2021.

5.4 ÍNDICES CLIMÁTICOS DO DIPOLO DO ATLÂNTICO

As duas fases do chamado Gradiente Inter-Hemisférico (GIH) de TSM no Oceano Atlântico Tropical (Dipolo Positivo e Negativo) foram determinadas com base na diferença entre os índices *Tropical Northern Atlantic (TNA)* e o *Tropical Southern Atlantic (TSA)*, obtidos por meio da página do NOAA, sendo calculados mensalmente. Os resultados para o GIH, que demonstra a diferença entre as TSM do Atlântico Tropical Norte e Sul são calculados pela Equação 2:

$$\text{GIH} = \text{TNA} - \text{TSA} \quad (2)$$

Os Quadros 2 e 3 mostram as séries temporais mensais de 1978 a 2017, para de TNA e TSA, respectivamente.

Quadro 2 - Valores de TNA de 1978 a 2017

TNA												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	0.11	0.20	0.25	0.26	0.08	-0.14	-0.33	-0.33	-0.21	0.08	0.01	-0.19
1979	0.17	0.28	0.15	0.29	0.35	0.42	0.28	0.08	0.10	0.10	0.11	0.26
1980	0.40	0.41	0.17	0.56	0.71	0.47	0.19	0.29	0.21	0.05	0.03	-0.02
1981	0.27	0.16	0.60	0.34	0.36	0.18	0.15	0.09	0.14	0.04	0.13	0.27
1982	0.19	-0.07	-0.07	-0.16	-0.03	-0.15	-0.27	-0.30	-0.28	-0.34	-0.46	-0.50
1983	-0.36	-0.02	0.44	0.45	0.17	0.35	0.23	0.01	-0.18	-0.15	0.05	0.23
1984	-0.05	-0.20	-0.10	-0.19	-0.16	-0.37	-0.35	-0.28	-0.24	-0.49	-0.46	-0.50
1985	-0.43	-0.37	-0.62	-0.65	-0.70	-0.30	-0.05	-0.08	-0.16	-0.14	-0.08	-0.25
1986	-0.62	-0.63	-0.61	-0.64	-0.54	-0.59	-0.38	-0.41	0.04	-0.2	-0.6	-0.69
1987	-0.32	-0.17	0.22	0.33	0.37	0.62	0.48	0.56	0.4	0.45	0.36	0.52
1988	0.15	-0.02	0.27	0.38	0.29	0.34	0.27	0.03	0.06	-0.2	-0.23	-0.23
1989	-0.42	-0.48	-0.66	-0.89	-0.66	-0.17	0.25	0.39	0.06	0.12	-0.04	0.22
1990	-0.08	-0.1	-0.04	0.06	0.13	-0.02	0.06	0.3	0.4	0.41	0.33	0.17
1991	-0.14	-0.11	-0.22	-0.39	-0.42	-0.43	-0.39	-0.29	-0.14	-0.11	-0.15	-0.18
1992	0	0.04	-0.18	-0.29	-0.18	-0.11	-0.01	-0.23	-0.21	-0.06	-0.3	-0.23
1993	-0.25	-0.25	-0.23	-0.07	-0.04	0.07	-0.17	-0.11	-0.12	-0.13	-0.34	-0.41
1994	-0.59	-0.61	-0.6	-0.46	-0.5	-0.43	-0.39	-0.29	-0.24	-0.08	-0.03	-0.13
1995	-0.05	-0.04	-0.05	0.11	0.3	0.48	0.58	0.59	0.4	0.37	0.51	0.47
1996	0.74	0.4	0.22	0.31	0.36	0.18	0.12	-0.03	0.15	0.08	0.03	0.14
1997	0.31	0.34	0.15	0.27	0.43	0.54	0.34	0.16	0.26	0.59	0.58	0.44
1998	0.43	0.77	0.75	0.59	0.59	0.66	0.56	0.67	0.51	0.49	0.43	0.29
1999	-0.1	-0.2	-0.23	-0.13	0.11	0.15	0.17	0.34	0.38	0.25	0.13	0.27
2000	-0.18	-0.1	0.06	-0.01	-0.06	-0.16	0.01	0.15	0.02	0	-0.12	-0.19
2001	-0.13	-0.15	0.15	0.05	0.06	0.24	0.3	0.34	0.51	0.48	0.62	0.66
2002	0.78	0.53	0.37	-0.02	-0.19	-0.13	-0.06	-0.05	0.07	0.36	0.22	0.2
2003	0.27	0	0.04	0	0.06	0.22	0.36	0.59	0.66	0.8	0.48	0.49
2004	0.5	0.51	0.36	0.46	0.17	0.27	0.46	0.68	0.59	0.62	0.63	0.53
2005	0.46	0.38	0.68	0.81	1.01	0.92	0.84	0.74	0.73	0.54	0.4	0.55
2006	0.41	0.19	0.18	0.41	0.43	0.52	0.36	0.53	0.69	0.74	0.71	0.47
2007	0.46	0.56	0.33	0.4	0.21	0.16	0.09	0.01	0.11	0.24	0.24	0.09
2008	0.14	0.18	0.27	0.09	0.28	0.39	0.45	0.45	0.57	0.43	0.27	0.26
2009	0.07	-0.37	-0.34	-0.31	-0.23	0.05	0.45	0.41	0.35	0.63	0.51	0.54
2010	0.8	1.07	1.27	1.4	1.35	1.11	1.01	0.97	0.75	0.77	0.7	0.96
2011	0.97	0.53	0.41	0.33	0.41	0.59	0.43	0.49	0.36	0.44	0.21	0.23
2012	0.16	-0.02	-0.26	-0.17	0.09	0.31	0.3	0.52	0.72	0.78	0.75	0.55
2013	0.44	0.4	0.7	0.53	0.64	0.32	0.34	0.56	0.61	0.66	0.32	0.27
2014	0.13	-0.08	-0.35	-0.21	-0.06	-0.05	0.14	0.23	0.51	0.56	0.35	0.34
2015	0.17	0.11	-0.11	-0.24	0.08	-0.07	0.16	0.43	0.72	0.93	0.49	0.42
2016	0.50	0.45	0.39	0.32	0.38	0.39	0.37	0.49	0.39	0.55	0.46	0.52
2017	0.49	0.23	0.13	0.47	0.58	0.60	0.60	0.67	0.52	0.45	0.53	0.54

Fonte: NOAA, 2021.

Quadro 3 - Valores de TSA de 1978 a 2017

TSA												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1978	-0.19	-0.29	-0.45	-0.65	-0.64	-0.47	-0.08	-0.20	-0.35	0.38	-0.43	-0.16
1979	-0.16	-0.24	-0.31	0.01	0.07	0.10	0.14	0.27	0.29	0.05	0.06	-0.02
1980	-0.15	-0.34	-0.26	-0.11	-0.04	-0.08	-0.06	0.03	0.11	-0.03	-0.25	-0.59
1981	-0.27	-0.47	-0.64	-0.52	-0.40	-0.22	-0.23	0.12	0.20	0.35	0.26	0.10
1982	0.03	-0.20	-0.21	-0.35	-0.37	-0.45	-0.44	-0.57	-0.31	-0.11	-0.28	-0.17
1983	0.33	0.37	-0.14	-0.25	-0.45	-0.45	-0.31	-0.08	0.04	-0.08	0.06	0.39
1984	0.68	0.65	0.79	0.50	0.26	0.46	0.55	0.77	0.84	0.59	0.31	0.25
1985	0.32	0.52	0.14	0.15	0.24	0.04	0.27	0.10	0.02	0.27	0.24	0.29
1986	0.2	0.47	0.38	0.28	0.26	0.41	0.19	0.21	0.3	0.14	-0.17	0.02
1987	0.02	0.08	0.16	0.04	0.28	0.42	0.5	0.43	0.32	0.42	0.63	0.39
1988	0.63	0.66	0.77	0.59	0.71	0.73	0.46	0.5	0.3	0.37	0.14	0.19
1989	0.41	0.23	0.35	0.29	0.33	0.31	0.26	0.39	0.21	0.28	-0.06	-0.25
1990	-0.34	0.13	0.32	0.35	-0.06	0.08	-0.11	-0.13	-0.07	0.1	0.17	0.22
1991	0.12	0.06	0.14	0.31	0.49	0.44	0.05	-0.33	-0.36	-0.36	-0.34	-0.08
1992	-0.27	-0.26	-0.4	-0.57	-0.66	-0.8	-0.6	-0.66	-0.56	-0.52	-0.79	-0.36
1993	-0.25	-0.13	-0.09	0.2	0.03	-0.03	0.05	0.04	0.44	0.69	0.75	0.5
1994	0.32	0.12	0.24	0.18	0.11	-0.18	-0.26	-0.17	-0.15	-0.05	0.08	0.2
1995	0.4	0.61	0.74	0.61	0.59	0.64	0.35	-0.07	-0.04	-0.05	0.12	0
1996	0.18	0.43	0.47	0.65	0.77	0.87	0.66	0.35	0.13	0.12	0.12	-0.06
1997	-0.22	-0.34	-0.47	-0.5	-0.54	-0.67	-0.27	-0.09	0.21	0.69	0.79	1.03
1998	0.72	0.74	0.69	0.54	0.54	0.66	0.85	0.59	0.41	0.21	0.32	0.11
1999	0.13	0.05	0.33	0.45	0.53	0.49	0.64	0.55	0.24	0.28	0.33	0.36
2000	0.21	0.39	0.4	0.37	0.29	0.2	0.15	0.2	0.02	0.1	0.07	-0.01
2001	0.16	0.17	0.29	0.38	0.47	0.36	0.15	0.14	0.11	0.2	0.16	0.01
2002	0.14	-0.06	0.29	0.31	0.49	0.33	0.47	0.01	-0.08	0.14	-0.07	0.35
2003	0.56	0.57	0.63	0.42	0.37	0.1	0.4	0.49	0.49	0.53	0.55	0.56
2004	0.41	0.22	-0.01	-0.26	-0.12	-0.08	0.08	0.22	0.33	0.14	0.24	0.43
2005	0.61	0.49	0.61	0.29	-0.06	-0.26	-0.32	0.01	-0.09	0	-0.07	-0.02
2006	0.04	0.23	0.41	0.31	0.24	0.41	0.3	0.33	0.27	0.23	0.08	0.32
2007	0.24	0.21	0.04	0.24	0.28	0.43	0.23	0.15	0.27	0.11	0.1	0.2
2008	0.19	0.36	0.6	0.64	0.82	0.7	0.66	0.51	0.28	0.27	0.31	0.41
2009	0.45	0.35	0.54	0.52	0.79	0.59	0.39	0.24	0.19	0.45	0.3	0.7
2010	0.79	0.68	0.89	0.68	0.62	0.85	0.6	0.48	0.23	0.43	0.4	0.41
2011	0.45	0.59	0.72	0.49	0.3	0.2	0.27	0.2	0.24	0.28	-0.05	-0.48
2012	-0.32	-0.51	-0.08	-0.33	-0.04	0.04	-0.03	-0.08	0.02	0.03	0.03	0.18
2013	0.39	0.25	0.26	0.35	0.48	0.28	0.23	0.25	0.03	0.04	-0.07	0.11
2014	0.11	0.22	0.22	0.23	0.48	0.47	0.17	0.24	0.26	0.16	-0.32	-0.12
2015	0.43	0.42	0.23	0.36	0.46	0.38	0.07	-0.11	-0.04	0.28	0.37	0.7
2016	0.81	0.59	0.60	0.39	0.35	0.68	0.63	0.52	0.26	0.46	0.28	0.67
2017	0.58	0.09	0.29	0.40	0.47	0.57	0.35	0.59	0.27	0.42	0.20	0.17

Fonte: NOAA, 2021.

5.5 INTENSIDADES E FASES DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS

As classificações dos fenômenos têm por objetivo verificar a suas ocorrências e intensidades nos anos da série histórica de dados trabalhada, buscando relacioná-los aos índices climáticos de cada fenômeno. Para a classificação do fenômeno ENOS utilizou-se, como citado anteriormente na metodologia, os ION's e as frequências. O El Niño caracteriza-se quando o índice é maior ou igual a $0,5^{\circ}\text{C}$, e a La Niña quando este índice for menor ou igual a $-0,5^{\circ}\text{C}$ pelo intervalo de, no mínimo, cinco meses consecutivos (MARCUSO *et al.*, 2012).

A Tabela 1 apresenta os critérios apresentados pelo *Golden Gate Service (2012)*, quanto as intensidades forte, moderado, fraco e de neutralidade do ENOS.

Tabela 1 - Classificação das intensidades do Fenômeno ENOS

Evento	Valor do ION (°C)	Intensidade
El Niño	$\geq 1,5$	Forte
	1 a 1,4	Moderado
	0,5 a 0,9	Fraco
Neutralidade	-0,4 a 0,4	Neutralidade
La Niña	0,5 a 0,9	Fraco
	1 a 1,4	Moderado
	$\leq - 1,5$	Forte

Fonte: Adaptado de Golden Gate Service, 2020.

Para o fenômeno Dipolo do Atlântico, foi utilizado o Índice Inter-Hemisférico. Com metodologia de obtenção similar à de Souza *et al.* (2005), na qual, tem-se que os anos com índice positivo ou negativo ocorrem quando a diferença TNA-TSA assume valores iguais ou acima de 0,2 °C ou iguais ou abaixo de -0,2 °C em, no mínimo, 4 meses de ocorrência, podendo extrapolar os meses de um ano a outro. O Quadro 4 apresenta os valores citados:

Quadro 4 - Determinação das fases (positiva ou negativa) do Índice Inter-Hemisférico

Índice Inter-Hemisférico	
Dipolo Positivo (+)	Dipolo Negativo (-)
0,2 °C	-0,2°C

Fonte: Autora, 2021.

Com os dados de vazão máximas ($Q_{m\acute{a}x}$) e mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$), obtidos anteriormente através da curva de permanência, será possível analisar os fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico, por meio de verificações pontuais buscando localizar os anos e períodos em que ocorreram, suas intensidades e influências no regime hidrológico no médio Rio Negro. Visto que as análises pontuais são capazes de demonstrar de forma mais assertiva as possíveis particularidades no mês ou ano de ocorrência de eventos extremos de secas, como nos anos de 2005 e 2010, e de enchentes como em 2021.

5.6 TESTES ESTATÍSTICOS

A aplicação de um teste estatístico é útil para verificar se os dados amostrados fornecem evidências científicas suficientes para testar a hipótese de pesquisa. Assim, por meio do software *RStudio*, que utiliza a linguagem R de programação para a geração de gráficos e cálculos estatísticos (modelagem linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, entre outros), foram realizados os seguintes testes:

5.6.1 *Grubbs*

O teste de *Grubbs* é realizado para identificar a presença de *outlier*, definido como aquele que apresenta uma grande variação ou inconsistência extrema em relação aos demais valores da série (Oliveira *et al.*, 2014), ou seja, um determinado elemento do conjunto muito maior ou menor que os restos dos demais números. Identificando assimetrias na distribuição ou erros nas coletas de dados, fornecendo informações para que se tome decisão mais concreta sobre os valores obtidos. A fórmula geral (Equação 3) para teste estatístico *Grubbs* é definida como:

$$G = \frac{\max |Y_i - \bar{Y}|}{s} \quad (3)$$

Onde:

Y_i = conjunto de dados

\bar{Y} = média aritmética do conjunto de dados

s = desvio padrão amostral do conjunto de dados

O valor calculado do parâmetro G é comparado com o valor crítico (valores tabelados) para o teste de *Grubbs*. Quando o valor calculado é mais elevado ou mais baixo do que o valor crítico de escolha estatística significativa, então o valor calculado pode ser aceito como um *outlier* (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Deste modo, o teste foi realizado para os dados de Vazão Média (Qmed) e Precipitação Média (PrecMed) identificando os respectivos *outliers* presentes nas amostras.

5.6.2 *Shapiro-Wilk*

O teste de *Shapiro-Wilk* (*SW*) fornece o parâmetro valor de prova (*p-value*) que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância (α) entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição normal, e H_1 : uma distribuição não-normal não especificada. A distribuição normal é caracterizada quando a média se encontra no centro da distribuição e possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva (LOPES *et al.*, 2013). Se $\alpha < 0,05$ (tem-se evidências para rejeitar a hipótese de normalidade) considera-se que os dados seguem uma distribuição não normal, quando $\alpha > 0,05$ (sem evidências para rejeitar a hipótese de normalidade dos dados), considera-se uma distribuição normal. A estatística de teste de *Shapiro-Wilk* é feita através da Equação 4:

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Onde:

x_i = valor de cada medida independente

\bar{x} = média de todas as medidas obtidas

b = parâmetro que deve ser calculado

n = quantidade de dados da amostra (par ou ímpar)

Como a amostra de dados, correspondente a série histórica, tem 40 anos, o valor de b é calculado (Equação 5) para números pares, ou seja, n é par.

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_n - 1 + 1 (x_{n-i+1} - x_i) \quad (5)$$

Sendo a , um valor tabelado, conforme valores tabelados foram originalmente descritos (PEARSON, HARTLEY; 1972). Após os cálculos para Qmed, verificou-se que esta segue uma distribuição normal e a PrecMed segue uma distribuição não normal.

5.6.3 Correlação de *Spearman*

O coeficiente de correlação de *Spearman*, é uma medida não paramétrica de dependência dos postos das variáveis, demonstrando o grau de associação entre duas variáveis numéricas. Este coeficiente varia de -1 a 1, quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação, quanto mais próximo estiver de zero, mais fraca é a relação entre as duas variáveis. O coeficiente negativo expressa uma relação inversa entre as duas variáveis, e o positivo a relação direta (FIGUEIREDO *et al.*, 2009). Assim, os valores negativos indicam que o aumento de uma variável implica no decréscimo de outra. Se positiva, o aumento em uma variável implica no aumento na outra variável. Este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de *outliers*, não exigindo que os dados provenham de duas populações com distribuições normais (SOUSA, 2019).

A estatística do teste de *Spearman* é dada pela Equação 6. Com seu resultado, é possível entender o grau de correlação entre as variáveis (Tabela 2):

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2-1)} \quad (6)$$

Onde:

n = quantidade de linhas contidas nos dados

d = diferenças dos postos (posições das variáveis)

Tabela 2: Interpretação do grau de correlação dado o valor *p*

Coeficiente	Correlação
0-0,25	Muito fraca
0,25-0,50	Fraca
0,5-0,75	Moderada
0,75-0,9	Forte
0,9-1	Muito forte

Fonte: Borges, La Torre e Schochat (2013).

Deve ser ressaltado que a existência de correlação estatística não garante que haja relação de causa e efeito entre os conjuntos de dados. Por essa razão, a correlação entre duas variáveis pode resultar da interferência de também outras variáveis não conhecidas no estudo (VIEIRA, 2012).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CURVA DE PERMANÊNCIA

O Tabela 3 apresenta as classificações das vazões em muito baixas, baixas, médias, altas e muito altas, obtidas a partir da análise de *Weibull*.

Tabela 3 – Classificação das vazões diárias da estação fluviométrica de Serrinha (AM):

LEGENDAS	
Muito Alta	$35001 \geq Qo \geq 24664$
Alta	$24663 \geq Qo \geq 18791$
Média	$18790 \geq Qo \geq 14879$
Baixa	$14878 \geq Qo \geq 10897$
Muito Baixa	$10896 \geq Qo \geq 1994$

Fonte: Autora, 2022.

O valor máximo de vazão foi de 35001 m³/s, e ocorreu no ano de 2002 (ocorrência de El Niño e Dipolo Negativo). O valor mínimo registrado no trecho foi de 1994 m³/s, e ocorreu no ano de 1980 (ocorrência de El Niño e Dipolo Positivo), constatando a influência conjunta dos fenômenos na regulação da vazão.

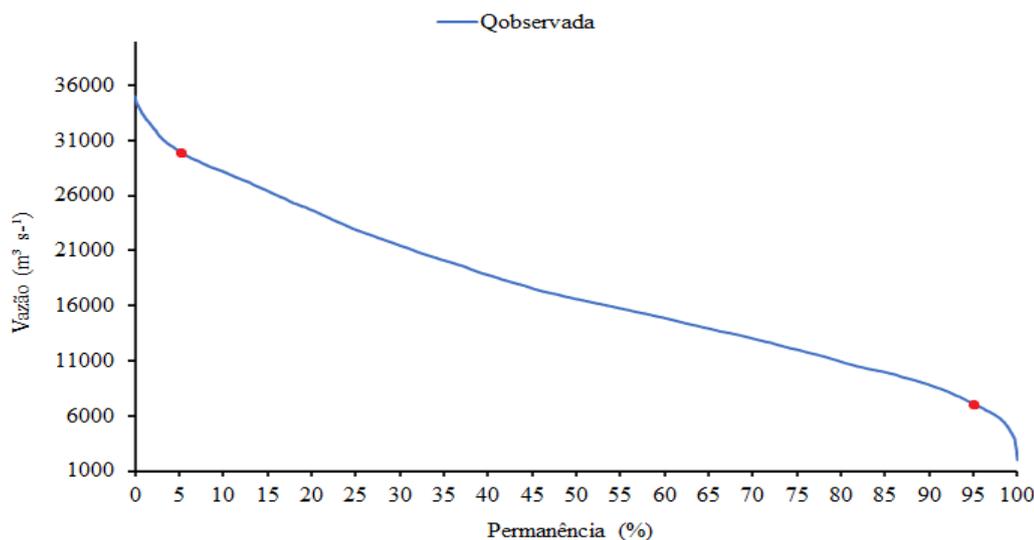
Com a realização da análise de *Weibull* foi possível verificar que as 5% maiores vazões ocorreram nos anos de 1986, 1989, 2002, 2003 e 2014. Com exceção de 1989, ano de ocorrência de La Niña, todos os outros anos caracterizados por vazões reduzidas registraram ocorrências de El Niño. E em todos os anos foram registradas ocorrências da fase Dipolo Negativo, caracterizado por aumentos nas vazões. Deste modo, conclui-se que as altas nas vazões sofreram maior interferência do Dipolo do Atlântico.

De maneira oposta, as 5% menores vazões ocorreram nos anos de 1979, 1980, 1983, 1985 e 1991. O ano de 1985 foi atípico, registrando La Niña e Dipolo Negativo. Em 1991, ocorreu El Niño e Dipolo Negativo, e o restante dos anos foram anos de El Niño de Dipolo Positivo simultaneamente. Após as análises, foi possível constatar que as vazões sofreram interferência do El Niño, com reduções compatíveis com seus períodos de ocorrência, agindo, assim, como um fator intensificador dos processos e sistemas em questão.

A curva abaixo fornece uma visão gráfica do comportamento hidrológico no trecho, quanto à variabilidade das vazões ao longo do tempo. A vazão encontra-se no eixo das ordenadas, correlacionando-se com a percentagem de tempo, demonstrada no eixo das abscissas. As vazões Q5 (máximas) e Q95 (mínimas) são as vazões de referência,

representando os limites definidos, com valores de 30.050 m³/s e 6.980 m³/s, respectivamente. A Figura 17 apresenta a curva de permanência da estação fluviométrica de Serrinha.

Figura 17 – Curva de Permanência



Fonte: Autora, 2022.

Ao analisar os valores máximos e mínimos de vazão, citados acima, constata-se que na estação fluviométrica de Serrinha, os dias de máximas ocorrem entre os meses de dezembro a junho, com pico de cheia em julho, e vazante entre agosto e outubro. Sendo importantes para observar esses períodos, os quais podem provocar grandes alterações no comportamento das curvas e avaliação de ocorrências extremas.

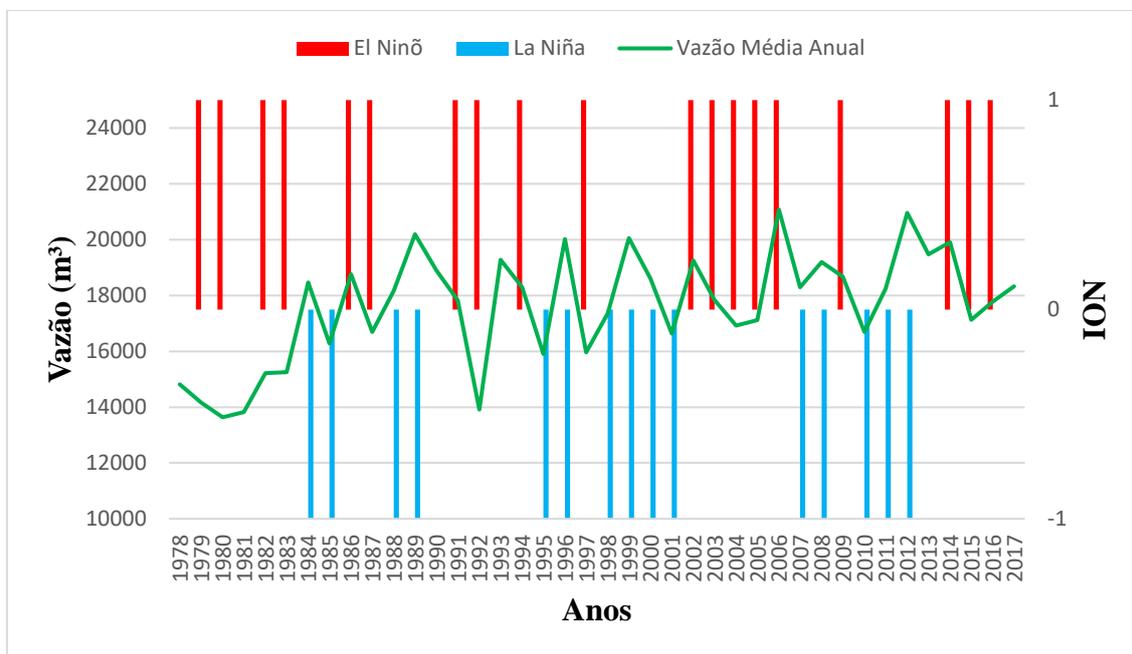
O estudo realizado por De Souza, Santos e Costa (2022) utilizou curvas de permanência e verificou que as variações nas vazões estão associadas aos regimes de chuva, onde nos períodos chuvosos, o escoamento superficial é considerável e em períodos secos, a vazão é controlada pelo fluxo de base, o qual representa a parcela de vazão proveniente de aquíferos, sustentando as vazões dos rios, em que sua quantificação pode contribuir para a avaliação do potencial hídrico (MONTEIRO; BACELLAR, 2014).

6.2 CLASSIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS ENOS

Inicialmente, a classificação do ENOS foi realizada aplicando-se um índice climático (ION) para cada ano da série histórica, como forma de verificar as ocorrências destes fenômenos e de que maneira eles podem influenciar nas vazões. A Figura 18

apresenta as ocorrências anuais do ENOS dentro da série histórica (1978-2017), juntamente com suas respectivas vazões médias anuais (m^3/s).

Figura 18: Ocorrências anuais dos ENOS x Vazão Média Anual

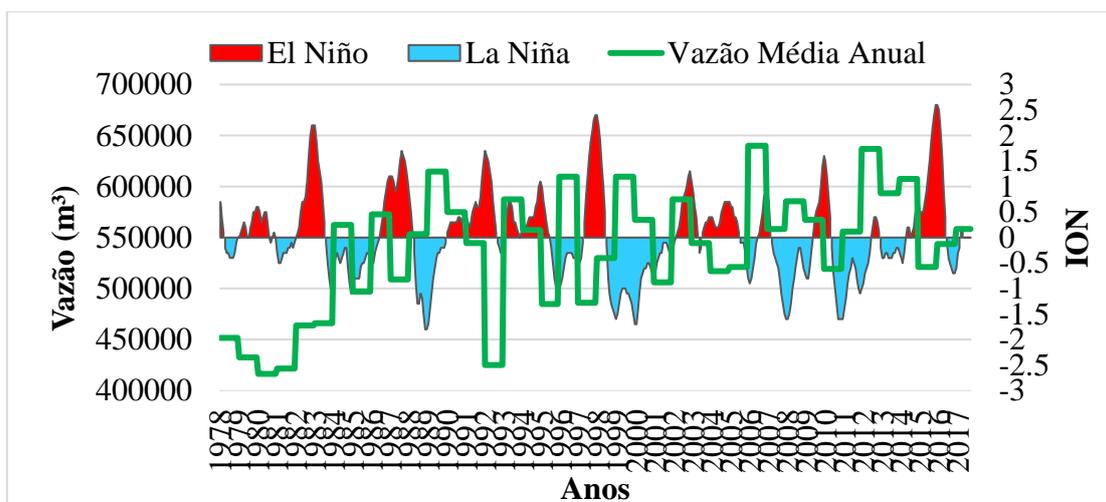


Fonte: Autora, 2022.

Assim sendo, nos 40 anos considerados, ocorreram 34 fenômenos, com 19 El Niño's e 15 La Niña's, e 6 anos considerados neutros (1978, 1981, 1990, 1993, 2013 e 2017). Também foi observado que durante os acontecimentos do ENOS, ocorreram quedas e altas das vazões medidas, nas fases EN e LN, respectivamente. Outro ponto que merece destaque, é a tendência de aumento nas médias das vazões nas fases El Niño. No decorrer dos 19 episódios na série histórica, iniciando em 1979 com vazão anual de $13638.73 m^3/s$ e com o último registrado em 2016 com vazão anual de $17784.02 m^3/s$, registrou-se um crescimento de mais de 30% dessas vazões. Vale ressaltar que outros fenômenos climáticos e atmosféricos também podem estar influenciando de forma indireta nesses processos.

O Figura 19 apresenta as ocorrências mensais do ENOS dentro da série histórica (1978-2017), juntamente com suas respectivas vazões médias anuais (m^3/s). Nesta classificação, um índice climático (ION) foi selecionado para cada mês da série histórica e relacionados aos dados de vazão média anual (m^3/s). Esta metodologia de organização buscou identificar, de maneira mais pontual, as intensidades e frequências dos fenômenos nos meses, e de que forma podem alterar as vazões.

Figura 19: Ocorrências mensais dos ENOS x Vazão Média Anual



Fonte: Autora, 2022.

Através do gráfico acima, foi possível identificar que sete anos de El Niño (EN) e La Niña (LN) foram classificados como de intensidade fraca. Com relação a intensidade moderada, foram quatro anos de EN e cinco anos de LN. Os demais anos foram identificados como anos de forte intensidade, contando com dez anos de EN e oito de LN.

O Quadro 5, apresenta a classificação e duração dos fenômenos ENOS. As menores permanências dos EN fracos duraram 5 meses e aconteceram nos anos de 1979 e 1980 (de outubro a fevereiro) e 2006 e 2007 (de setembro a janeiro). Para LN, as menores também duraram 5 meses e variaram entre fraco e moderado nos anos de 1983 e 1984 (de setembro a janeiro), de 2005 e 2006 (de novembro a março) e em 2016 (de agosto a dezembro). No que diz respeito as maiores permanências, os EN duraram 19 meses e variaram entre fraco, moderado e forte nos anos de 2014 a 2016 (de outubro a abril). Para LN, as maiores duraram 32 meses também variando entre fraco, moderado e forte nos anos de 1998 a 2001 (de julho a fevereiro).

Quadro 5: Classificação e períodos de duração (meses/anos) dos fenômenos ENOS entre nos anos de 1978 a 2017.

Mês / Ano	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Jan	0.7	0	0.6	-0.3	0	2.2	-0.6	-1	0.5	1.2	0.8	-1.7	0.1	0.4	1.7	0.1	0.1	1	-0.9	-0.5
Fev	0.4	0.1	0.6	-0.5	0.1	1.9	-0.4	-0.8	0.5	1.2	0.5	-1.4	0.2	0.3	1.6	0.3	0.1	0.7	-0.8	-0.4
Mar	0.1	0.2	0.3	-0.5	0.2	1.5	-0.3	-0.8	-0.3	1.1	0.1	-1.1	0.3	0.2	1.5	0.5	0.2	0.5	-0.6	-0.1
Abr	-0.2	0.3	0.4	-0.4	0.5	1.3	-0.4	-0.8	-0.2	0.9	-0.3	-0.8	0.3	0.3	1.3	0.7	0.3	0.3	-0.4	0.3
Mai	-0.3	0.2	0.5	-0.3	0.7	1.1	-0.5	-0.8	-0.1	1	-0.9	-0.6	0.3	0.5	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.3	0.8
Jun	-0.3	0	0.5	-0.3	0.7	0.7	-0.4	-0.6	0	1.2	-1.3	-0.4	0.3	0.6	0.7	0.6	0.4	0	-0.3	1.2
Jul	-0.4	0	0.3	-0.3	0.8	0.3	-0.3	-0.5	0.2	1.5	-1.3	-0.3	0.3	0.7	0.4	0.3	0.4	-0.2	-0.3	1.6
Ago	-0.4	0.2	0	-0.2	1.1	-0.1	-0.2	-0.5	0.4	1.7	-1.1	-0.3	0.4	0.6	0.1	0.3	0.4	-0.5	-0.3	1.9
Set	-0.4	0.3	-0.1	-0.2	1.6	-0.5	-0.2	-0.4	0.7	1.6	-1.2	-0.2	0.4	0.6	-0.1	0.2	0.6	-0.8	-0.4	2.1
Out	-0.3	0.5	0	-0.1	2	-0.8	-0.6	-0.3	0.9	1.5	-1.5	-0.2	0.3	0.8	-0.2	0.1	0.7	-1	-0.4	2.3
Nov	-0.1	0.5	0.1	-0.2	2.2	-1	-0.9	-0.3	1.1	1.3	-1.8	-0.2	0.4	1.2	-0.3	0	1	-1	-0.4	2.4
Dez	0	0.6	0	-0.1	2.2	-0.9	-1.1	-0.4	1.2	1.1	-1.8	-0.1	0.4	1.5	-0.1	0.1	1.1	-1	-0.5	2.4

Mês / Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan	2.2	-1.5	-1.7	-0.7	-0.1	0.9	0.4	0.6	-0.9	0.7	-1.6	-0.8	1.5	-1.4	-0.9	-0.4	-0.4	0.5	2.5	-0.3
Fev	1.9	-1.3	-1.4	-0.5	0	0.6	0.3	0.6	-0.8	0.2	-1.5	-0.8	1.2	-1.2	-0.7	-0.4	-0.4	0.5	2.1	-0.3
Mar	1.4	-1.1	-1.1	-0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	-0.6	-0.1	-1.3	-0.6	0.8	-0.9	-0.6	-0.3	-0.3	0.5	1.6	0.1
Abr	1	-1	-0.8	-0.3	0.2	0	0.2	0.4	-0.4	-0.3	-1	-0.3	0.4	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.7	0.9	0.2
Mai	0.5	-1	-0.7	-0.3	0.4	-0.3	0.2	0.3	-0.1	-0.4	-0.8	0	-0.2	-0.6	-0.3	-0.4	0.2	0.9	0.4	0.3
Jun	-0.1	-1	-0.6	-0.1	0.7	-0.2	0.3	0.1	0	-0.5	-0.6	0.3	-0.7	-0.4	0	-0.4	0.2	1.2	-0.1	0.3
Jul	-0.8	-1.1	-0.6	-0.1	0.8	0.1	0.5	-0.1	0.1	-0.6	-0.4	0.5	-1	-0.5	0.2	-0.4	0	1.5	-0.4	0.1
Ago	-1.1	-1.1	-0.5	-0.1	0.9	0.2	0.6	-0.1	0.3	-0.8	-0.2	0.6	-1.3	-0.6	0.4	-0.3	0.1	1.9	-0.5	-0.1
Set	-1.3	-1.2	-0.5	-0.2	1	0.3	0.7	-0.1	0.5	-1.1	-0.2	0.7	-1.6	-0.8	0.4	-0.3	0.2	2.2	-0.6	-0.4
Out	-1.4	-1.3	-0.6	-0.3	1.2	0.3	0.7	-0.3	0.8	-1.3	-0.4	1	-1.6	-1	0.3	-0.2	0.5	2.4	-0.7	-0.7
Nov	-1.5	-1.5	-0.7	-0.3	1.3	0.4	0.7	-0.6	0.9	-1.5	-0.6	1.4	-1.6	-1.1	0.1	-0.2	0.6	2.6	-0.7	-0.8
Dez	-1.6	-1.7	-0.7	-0.3	1.1	0.4	0.7	-0.8	0.9	-1.6	-0.7	1.6	-1.6	-1	-0.2	-0.3	0.7	2.6	-0.6	-1

Fonte: Autora, 2022.

LEGENDA		
Classificação	El Niño	La Niña
Forte	$ION \geq 1,5$	$ION \leq -1,5$
Moderado	$1,0 \leq ION < 1,5$	$-1,0 \geq ION > -1,5$
Fraco	$0,5 \leq ION < 1,0$	$-0,5 \geq ION > -1,0$

Quadro 6: Intensidades ENOS x Anos de ocorrências

El Niño			La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Fraco	Moderado	Forte
1979	1986	1982	1996	1983	1988
1980	1991	1983	2001	1984	1989
1995	1994	1987	2005	1985	1998
2003	2002	1992	2006	1995	1999
2004		1997	2009	2011	2000
2005		1998	2012		2007
2006		2009	2016		2008
		2010			2010
		2015			
		2016			

Fonte: Autora, 2022.

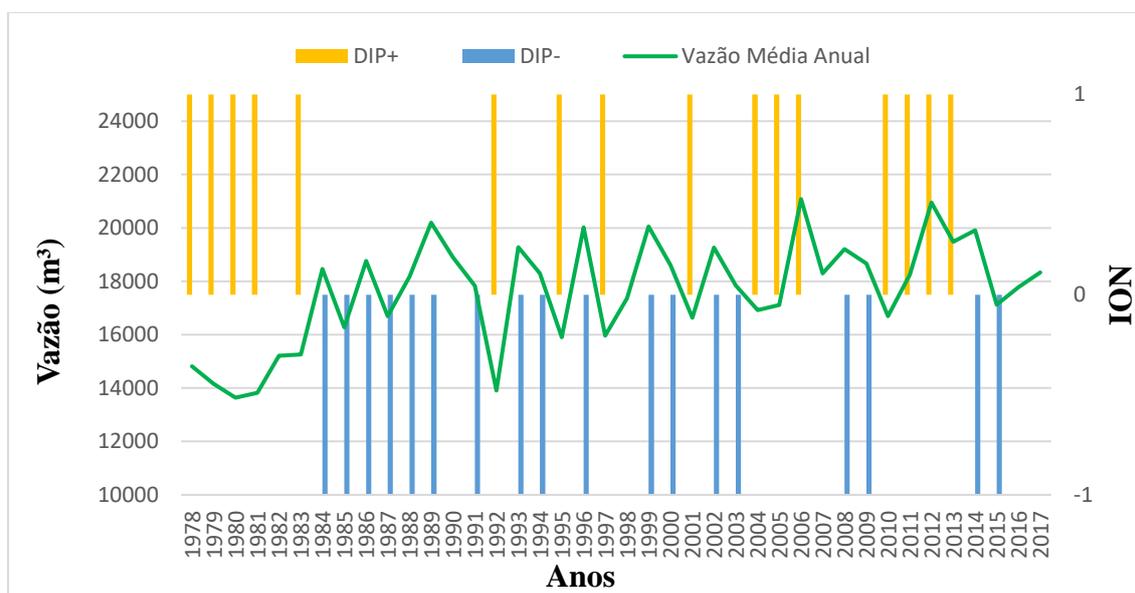
O Quadro 6, acima, apresenta os anos em que ocorreram os fenômenos El Niño e/ou La Niña e suas intensidades, conforme a classificação, e possíveis variações nos dados de vazão observados. Os anos em destaque correspondem as ocorrências simultâneas das fases (em 8 anos). De maneira geral, em anos de EN, espera-se que as vazões diminuam, por conta da diminuição da precipitação ocasionada nesta fase. De forma contrária, na fase LN, ocorre o aumento das precipitações e vazões. Dos 21 anos de EN, sete anos foram classificados como “Fracos”, quatro anos “Moderados” e dez anos “Fortes”. Mesmo estando incluídos dentro primeira classe, os anos de 1979, 1980, 1995 e 2010 estiveram entre 10 os anos com as menores vazões. Com relação última classe, seis anos (1982, 1983, 1987, 1992, 1997 e 2010) completam os anos com as menores medições, sendo, portanto, influenciados pela ocorrência do fenômeno.

Merece destaque também que os anos de 1983, 1995 e 2010, mesmo com ocorrência paralela de LN, foram anos com baixas vazões. Os anos da segunda classe, foram compatíveis, dentro dos critérios, com os valores de vazão. Tratando-se da fase LN, dos 20 anos tabelados, sete foram classificados como “Fracos”, cinco como “Moderados” e oito como “Fortes”. Semelhante ao acontecido na fase de EN, mesmo estando presente na primeira classe, anos de 1996, 2006, 2013 e 2012 estão entre 9 maiores vazões. Na última classe, completando os maiores valores, estão cinco anos (1989, 1999, 2000, 2007 e 2010), indicando que foram influenciados pela ocorrência da fase LN. Os anos “Moderados” tiveram os dois menores valores de vazão (1983 e 1995) com ocorrências simultâneas, possivelmente mais influenciados pelo EN.

6. 3 CLASSIFICAÇÃO DOS FENÔMENOS DIPOLO DO ATLÂNTICO

Assim como no ENOS, a classificação do Dipolo do Atlântico foi feita com a aplicação de um índice climático (ION) para cada ano da série histórica, para verificar suas ocorrências e como podem influenciar nas vazões. A Figura 20 apresenta as ocorrências anuais do Dipolo do Atlântico (GIH+ e GIH-) dentro da série histórica (1978-2017), juntamente com suas respectivas vazões médias anuais (m^3/s).

Figura 20: Ocorrências Anuais do Dipolo do Atlântico x Vazão Média Anual



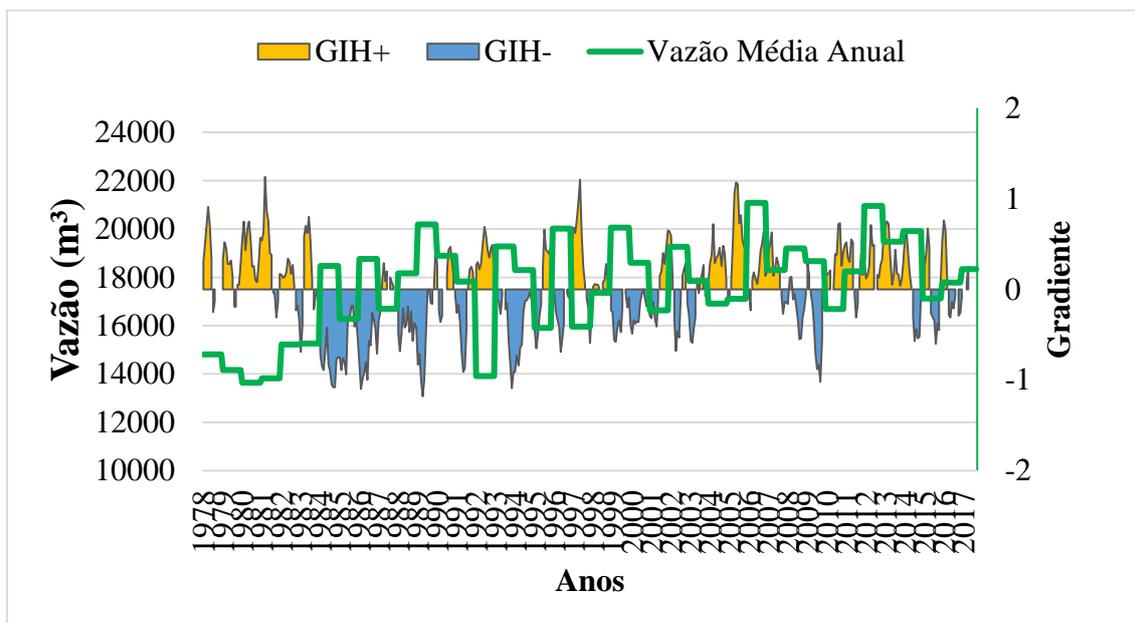
Fonte: Autora, 2022.

Nos 40 anos da série, ocorreram 34 fenômenos, com 18 Dipolos Positivos e 16 Dipolos Negativos e 6 anos considerados neutros (1982,1990,1998,2007,2016 e 2017). Houve coincidências das ocorrências anuais de Dipolo do Atlântico com as quedas e altas das vazões medidas, nas fases DIP+ e DIP-, respectivamente e, assim como no ENOS, foi vista uma tendência de aumento nas médias das vazões mesmo em anos de possíveis diminuições por conta dos episódios de Dipolo Positivo.

Nos episódios de Dipolo Negativo, responsável, geralmente, pelo aumento das precipitações, foram observados aumentos consideráveis nas vazões anuais no decorrer da série. A exemplo, o primeiro ano de ocorrência em 1978 registrou a vazão de 14816.52 m^3/s e último em 2013 com valores de 19478.71 m^3/s , com crescimento de cerca de 31% das vazões. Destaca-se novamente que outros fenômenos climáticos e atmosféricos podem influenciar nos valores de vazão.

A Figura 21 apresenta as ocorrências mensais do Dipolo do Atlântico entre os anos de 1978 e 2017, com suas respectivas vazões médias anuais (m^3/s). Para esta classificação, um índice climático (GIH) foi selecionado para cada mês da série histórica e relacionados aos dados de vazão média anual (m^3/s), com a mesma metodologia anteriormente utilizada.

Figura 21: Ocorrências Mensais do Dipolo do Atlântico x Vazão Média Anual



Fonte: Autora, 2022.

Por meio do gráfico anterior, observa-se os gradientes, relativos ao índice climático, correspondentes as fases do Dipolo do Atlântico e suas possíveis influências sobre as vazões. Merece ênfase que o ano de 1981 registrou o valor de 1,24 na fase positiva do Dipolo e a segunda menor vazão de $13821.79 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo compatível com os efeitos causados por esta fase. Para a fase negativa, nesse mesmo sentido, o ano de 1989 apresentou o valor de -1,18 e valor de vazão de $20193.57 \text{ m}^3/\text{s}$, a terceira maior da série.

Através do Quadro 7 foi possível conhecer-se as durações das fases do Dipolo do Atlântico. Para Dipolo Positivo, com menores durações, de 4 meses, tem-se os anos de 2006 e 2013 (de agosto a novembro) e 2014 (de setembro a dezembro). Para o Dipolo Negativo, também com duração de 4 meses, o ano de 2002 (de abril a julho). Sobre as maiores durações, o Dipolo Positivo teve 12 meses, entre os anos de 2010 e 2011 (de fevereiro a janeiro). Para o Dipolo Negativo, a duração foi de 19 meses, entre os anos de 1984 e 1985 (de janeiro a julho).

Quadro 7: Classificação e períodos de duração (meses/anos) dos fenômenos Dipolo do Atlântico entre nos anos de 1978 a 2017.

Ano	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Jan	0,30	0,33	0,55	0,54	0,16	-0,69	-0,73	-0,75	-0,82	-0,34	-0,48	-0,83	0,26	-0,26	0,27	0,00	-0,91	-0,45	0,56	0,53
Fev	0,49	0,52	0,75	0,63	0,13	-0,39	-0,85	-0,89	-1,10	-0,25	-0,68	-0,71	-0,23	-0,17	0,30	-0,12	-0,73	-0,65	-0,03	0,68
Mar	0,70	0,46	0,43	1,24	0,14	0,58	-0,89	-0,76	-0,99	0,06	-0,50	-1,01	-0,36	-0,36	0,22	-0,14	-0,84	MARÇO	-0,25	0,62
Abr	0,91	0,28	0,67	0,86	0,19	0,70	-0,69	-0,80	-0,92	0,29	-0,21	-1,18	-0,29	-0,70	0,28	-0,27	-0,64	-0,50	-0,34	0,77
Mai	0,72	0,28	0,75	0,76	0,34	0,62	-0,42	-0,94	-0,80	0,09	-0,42	-0,99	0,19	-0,91	0,48	-0,07	-0,61	-0,29	-0,41	0,97
Jun	0,33	0,32	0,55	0,40	0,30	0,80	-0,83	-0,34	-1,00	0,20	-0,39	-0,48	-0,10	-0,87	0,69	0,10	-0,25	-0,16	-0,69	1,21
Jul	-0,25	0,14	0,25	0,38	0,17	0,54	-0,90	-0,32	-0,57	-0,02	-0,19	-0,01	0,17	-0,44	0,59	-0,22	-0,13	0,23	-0,54	0,61
Ago	-0,13	-0,19	0,26	-0,03	0,27	0,09	-1,05	-0,18	-0,62	0,13	-0,47	0,00	0,43	0,04	0,43	-0,15	-0,12	0,66	-0,38	0,25
Set	0,14	-0,19	0,10	-0,06	0,03	-0,22	-1,08	-0,18	-0,26	0,08	-0,24	-0,15	0,47	0,22	0,35	-0,56	-0,09	0,44	0,02	0,05
Out	-0,30	0,05	0,08	-0,31	-0,23	-0,07	-1,08	-0,41	-0,34	0,03	-0,57	-0,16	0,31	0,25	0,46	-0,82	-0,03	0,42	-0,04	-0,10
Nov	0,44	0,05	0,28	-0,13	-0,18	-0,01	-0,77	-0,32	-0,43	-0,27	-0,37	0,02	0,16	0,19	0,49	-1,09	-0,11	0,39	-0,09	-0,21
Dez	-0,03	0,28	0,57	0,17	-0,33	-0,16	-0,75	-0,54	-0,71	0,13	-0,42	0,47	-0,05	-0,10	0,13	-0,91	-0,33	0,47	0,20	-0,59

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan	-0,29	-0,23	-0,39	-0,29	0,64	-0,29	0,09	-0,15	0,37	0,22	-0,05	-0,38	0,01	0,52	0,48	0,05	0,02	-0,26	-0,31	-0,09
Fev	0,03	-0,25	-0,49	-0,32	0,59	-0,57	0,29	-0,11	-0,04	0,35	-0,18	-0,72	0,39	-0,06	0,49	0,15	-0,30	-0,31	-0,14	0,14
Mar	0,06	-0,56	-0,34	-0,14	0,08	-0,59	0,37	0,07	-0,23	0,29	-0,33	-0,88	0,38	-0,31	-0,18	0,44	-0,57	-0,34	-0,21	-0,16
Abr	0,05	-0,58	-0,38	-0,33	-0,33	-0,42	0,72	0,52	0,10	0,16	-0,55	-0,83	0,72	-0,16	0,16	0,18	-0,44	-0,60	-0,07	0,07
Mai	0,05	-0,42	-0,35	-0,41	-0,68	-0,31	0,29	1,07	0,19	-0,07	-0,54	-1,02	0,73	0,11	0,13	0,16	-0,54	-0,38	0,03	MAIO
Jun	0,00	-0,34	-0,36	-0,12	-0,46	0,12	0,35	1,18	0,11	-0,27	-0,31	-0,54	0,26	0,39	0,27	0,04	-0,52	-0,45	-0,29	JUNHO
Jul	-0,29	-0,47	-0,14	0,15	-0,53	-0,04	0,38	1,16	0,06	-0,14	-0,21	0,06	0,41	0,16	0,33	0,11	-0,03	0,09	-0,26	0,25
Ago	0,08	-0,21	-0,05	0,20	-0,06	0,10	0,46	0,73	0,20	-0,14	-0,06	0,17	0,49	0,29	0,60	0,31	-0,01	0,54	-0,03	0,08
Set	0,10	0,14	0,00	0,40	0,15	0,17	0,26	0,82	0,42	-0,16	0,29	0,16	0,52	0,12	0,70	0,58	0,25	0,76	0,13	0,25
Out	0,28	-0,03	-0,10	0,28	0,22	0,27	0,48	0,54	0,51	0,13	0,16	0,18	0,34	0,16	0,75	0,62	0,40	0,65	0,09	0,03
Nov	0,11	-0,20	-0,19	0,46	0,29	-0,07	0,39	0,47	0,63	0,14	-0,04	0,21	0,30	0,26	0,72	0,39	0,67	0,12	0,18	0,33
Dez	0,18	-0,09	-0,18	0,65	-0,15	-0,07	0,10	0,57	0,15	-0,11	-0,15	-0,16	0,55	0,71	0,37	0,16	0,46	-0,28	-0,15	0,37

Fonte: Autora, 2022.

LEGENDA	
Possível Dipolo Positivo	Possível Dipolo Negativo
Temperatura $\geq 0,2$	Temperatura $\leq -0,2$

Quadro 8: Dipolo do Atlântico x Anos de ocorrências

Dipolo Negativo	Dipolo Positivo
1984	1978
1985	1979
1986	1980
1988	1981
1989	1983
1991	1992
1993	1995
1994	1997
1995	2001
1996	2004
1999	2005
2000	2006
2002	2010
2003	2012
2008	2013
2009	2014
2014	
2015	

Fonte: Autora, 2022.

O Quadro 8 apresenta as ocorrências anuais das fases do Dipolo do Atlântico e duas simultaneidades nos anos de 1995 e 2014, ou seja, anos em que as duas fases ocorreram. O ano de 1995, tem valores de 0,79 para a fase negativa (DIP-) e 0,66 para a fase positiva (DIP+), e vazão de 15904.21 m³/s (oitava menor vazão), constatando que o Dipolo Positivo pode ter influenciado de maneira mais contundente. Em 2014, tem-se -0,57 para a fase negativa (DIP-) e 0,67 para a fase positiva (DIP+), e vazão de 19912.60 m³/s (sexta maior vazão), neste caso, possivelmente, mais influenciado pelo Dipolo Negativo.

Em alguns anos da série histórica houve ocorrências simultâneas dos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico. Primeiramente, destacando os nove anos de El Niño e Dipolo Positivo (1979,1980,1992,1995,1997,2004,2005,2006 e 2010). Essas duas fases, em conjunto, foram responsáveis por baixas vazões como em 1979 (terceira menor vazão). Nos casos de La Niña e Dipolo Negativo foram oito anos (1984,1985,1988,1989,1996,1999,2000 e 2009), registrando altas vazões como em 1996 (quarta maior vazão). As durações também são relevantes para verificar os comportamentos das vazões e possíveis efeitos de antecipação e retardamento dos fenômenos, visto que a linha temporal é ultrapassada durante a série temporal estudada.

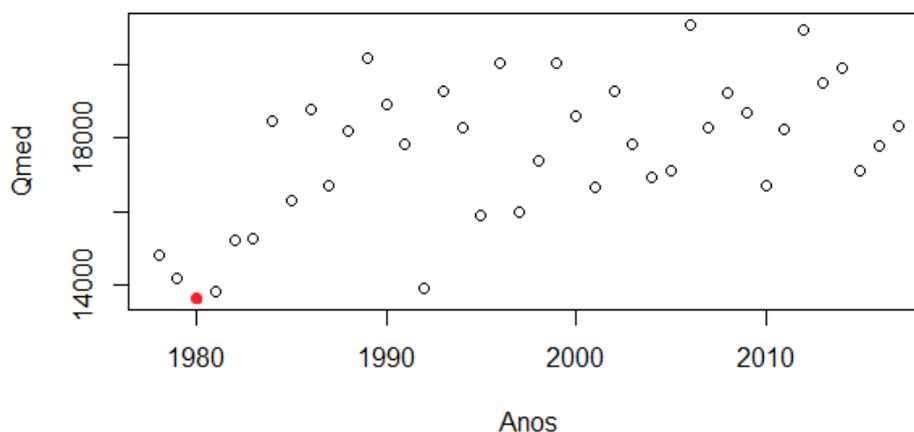
A caracterização das variações espaciais e temporais dos regimes de precipitação e vazão é o primeiro passo para mitigação de extremos hidrológicos (GOERGEN *et al.*, 2016). Dentre as variáveis climáticas mais comuns, a precipitação é a que mais se modifica no tempo e no espaço, portanto, afeta diretamente os ciclos naturais dos recursos hídricos, sendo a circulação atmosférica de massas de ar um dos principais processos que controlam a distribuição das taxas de precipitação e escoamento superficial (VILLAR *et al.*, 2009).

6.4 VERIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE A VAZÃO E A PRECIPITAÇÃO

Em um primeiro momento, para verificar a correlação entre as variáveis vazão e precipitação e de que forma podem estar influenciando em seus comportamentos, foram realizados os Testes de *Grubbs*, *Shapiro-Wilk* e a Correlação de *Spearman* no Software R. Inicialmente, o Teste de *Grubbs* foi aplicado ao conjunto de 40 dados com a finalidade de identificar os outlier nas amostras de dados de Qmed (Vazão Média) e Precmed (Precipitação Média).

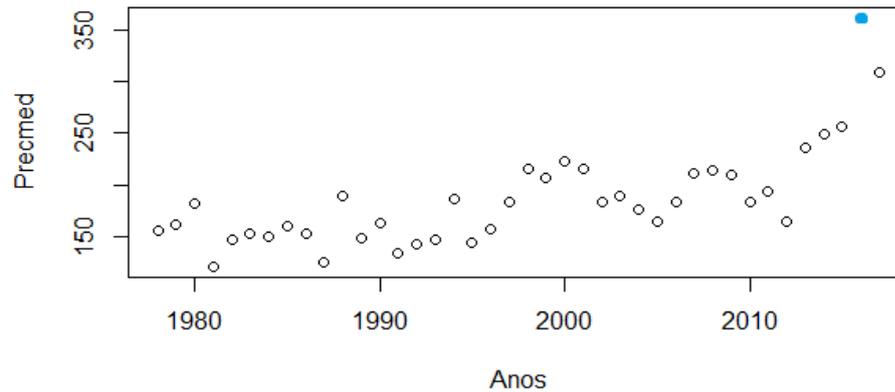
O valor de 13638.73 (em vermelho) foi identificado como o valor mais baixo presente nos dados de Qmed, sendo considerado um valor atípico e, dentro do contexto, um outlier. Para Precmed, o valor de 361.5 (em azul) foi identificado como o valor mais alto presente nos dados sendo também considerado um outlier e, assim, sendo considerados os “extremos” e retirados dos dados. As Figuras 22 e 23 trazem os outliers para Qmed e Precmed, respectivamente:

Figura 22: Identificação de outlier (13638.73) nos dados de Qmed



Fonte: Autora, 2022.

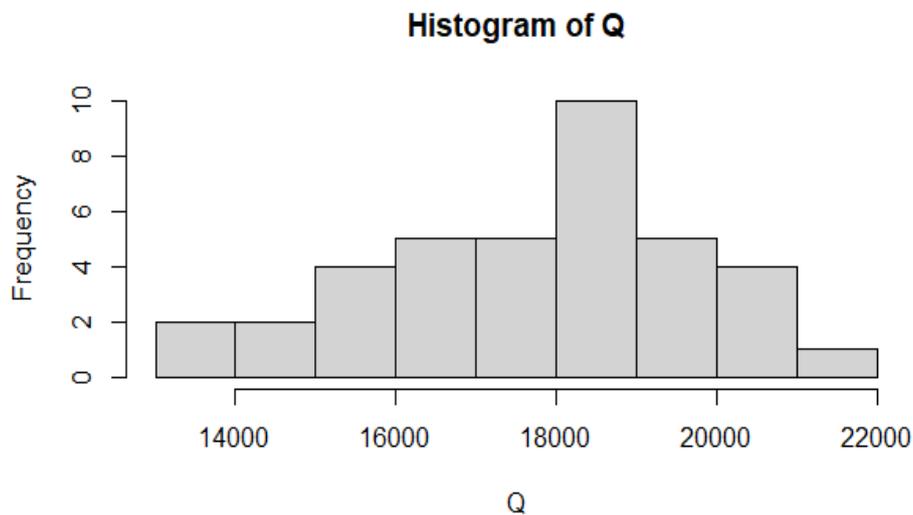
Figura 23: Identificação de outlier (361.5) nos dados de Precmed



Fonte: Autora, 2022.

Após a identificação dos *outliers*, fez-se necessária a realização do Teste de *Shapiro-Wilk*, contendo 38 dados, após a retirada dos outliers, buscando verificar as normalidades dos dados. Para Qmed foi gerado um valor de significância (α) ou *p-value* de = 0.3583, implicando no aceite de H_0 e que, a distribuição dos não é diferente de distribuição normal. A Figura 24 apresenta os valores de normalidades para Qmed:

Figura 24: Distribuição normal para valores de Qmed

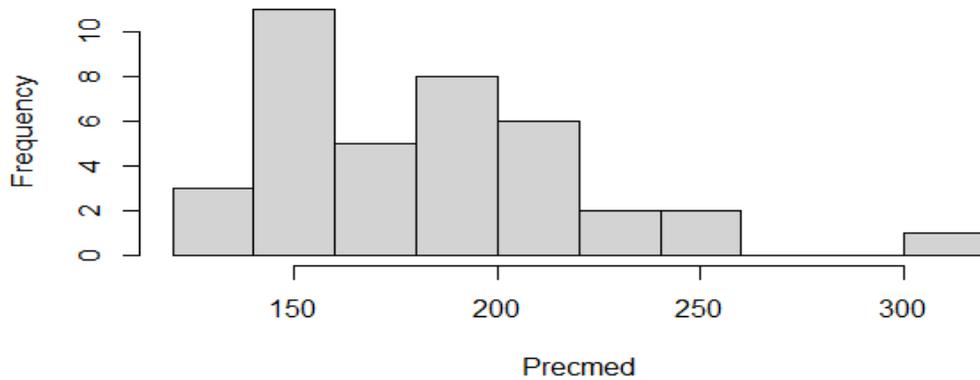


Fonte: Autora, 2022.

No entanto, para Precmed o valor de α foi de 0.02742, com $\alpha < 0,05$, rejeita-se H_0 , ou seja, nos informa que os dados da amostra diferem significativamente de uma distribuição normal, isto é, eles são não normais.

A Figura 25 traz os resultados para o teste de normalidade de Precmed:

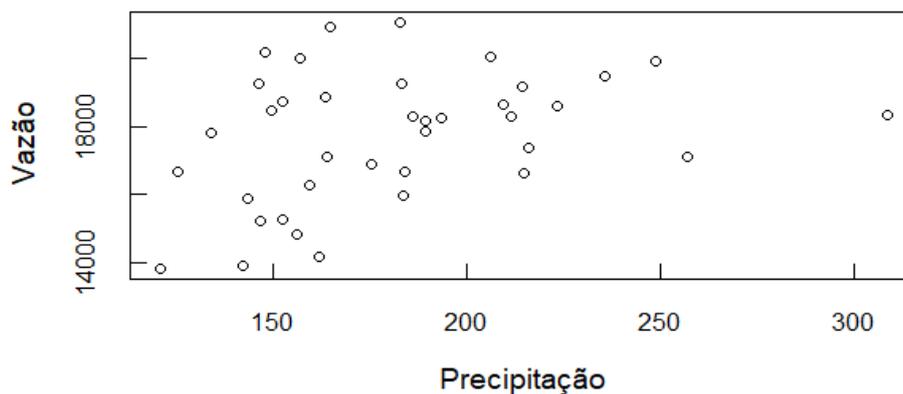
Figura 25: Distribuição não normal (enviesada para a esquerda) para valores de Precmed



Fonte: Autora, 2022.

Em face disso, foi usado o índice de Correlação de *Spearman*, analisando se, quando o valor de uma variável aumenta ou diminui, o valor da outra variável também sofre alterações. O coeficiente gerado é um número que varia de -1 a 1, tendo-se que quanto mais próximo dos extremos, maior é a força da correlação. O *p-value* foi de 0.04192 ($p < 0,05$) sendo uma correlação tida como significativa, porém, o valor de *rho* (ρ) foi de 0.3325309, logo, tendo uma correlação fraca e diretamente proporcional, conforme a Figura 26:

Figura 26: Correlação de *Spearman* para Qmed e Precmed



Fonte: Autora, 2022.

Em síntese, infere-se pela existência de uma correlação direta e fraca entre a precipitação e a vazão, sugerindo a existência de outros fatores, inclusive os fenômenos climáticos globais de ENSO e Dipolo do Atlântico na regulação da vazão no médio rio Negro, o que pode ser um padrão nos rios da Amazônia.

7 CONCLUSÃO

Os índices ION e GIH se apresentaram como potenciais preditores da vazão para a área de estudo, exercendo influência em várias escalas. Durante o estudo observou-se que a variabilidade climática, representadas pelas vazões, possui relação com as ocorrências dos fenômenos climáticos que ocorrem nos oceanos Pacífico e Atlântico, respectivamente. Foi possível constatar que treze (65%) das vinte menores vazões foram em anos de El Niño, e dez (50%) das vinte maiores vazões foram em anos de La Niña. Assim, supõe-se que os eventos El Niño influenciaram de maneira mais contundente nas vazões do que os eventos de La Niña. Por meio das avaliações mensais, as intensidades variaram entre El Niño fraco e forte, com cinco e oito ocorrências, respectivamente, estando entre as menores vazões. Para La Niña, tiveram as três classificações, fraco, moderado e forte, com duas, duas e seis ocorrências, respectivamente para as maiores vazões.

Em referência ao fenômeno Dipolo do Atlântico, tem-se que 12 (60%) das vinte menores vazões ocorreram em anos de Dipolo Positivo, e 13 (65%) das maiores vazões em anos de Dipolo Negativo. Assim, é possível concluir que a fase Dipolo Negativo possui uma interferência maior sobre as vazões quando comparado a fase Dipolo Positivo. A atuação simultânea dos dois fenômenos merece destaque, visto que a ocorrência conjunta de, El Niño e Dipolo Positivo, resultou em vazões reduzidas, como em 1979, 1980 e 1992 com valores de 14160.93 m³/s, 13638.73 m³/s e 13909.31 m³/s estando entre as cinco menores vazões, de modo recíproco. Enquanto a ocorrência conjunta de La Niña e Dipolo Negativo implica na intensificação e aumento das vazões, como nos anos de 1989, 1996 e 1999 que apresentaram as cinco maiores vazões da série histórica estudada, com valores de 20193.57 m³/s, 20019.37 m³/s e 20057.68 m³/s, nessa ordem.

As vazões e as precipitações, apresentaram relações com os índices climáticos (ION e GIH) e correlação de Pearson significativa e diretamente proporcional entre elas, porém fraca. Os resultados destacaram que os fenômenos de influência global ENOS e Dipolo do Atlântico possuem uma influência superior a precipitação local quando relacionados as vazões. Esses resultados podem ser uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, com planejamento de ações mitigadoras no período chuvoso com tempo de antecedência, sendo uma ferramenta que pode ser somada ao aparato governamental para avaliar as possibilidades de eventos extremos de cheias e secas e seus danos na região.

RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As sugestões surgem no sentido de incentivo para pesquisas futuras que utilizem outras variáveis relacionadas a vazão, precipitação e aos diversos fenômenos climáticos atuantes, como a temperatura, o volume e as velocidades de fluxo que podem influenciar na disponibilidade hídrica, identificando suas consequências sociais, ambientais e econômicas.

Outro ponto que merece destaque, são as curvas de permanência e sua regionalização, com aplicação conjunta em quantidade e qualidade, sendo uma ferramenta auxiliar no gerenciamento, monitoramento e gestão dos recursos hídricos. Uma vez que, é de grande relevância e interesse social o conhecimento e monitoramento hidrológico de extremos climáticos para a geração de alertas, avisos de enchentes recordes, estiagens prolongadas e, principalmente, a preparação para o enfrentamento de tais situações, com melhorias nas perspectivas, tomadas de decisões e práticas governamentais.

REFERÊNCIAS

ACOT, P. Histoire du climat. Paris, **Éditions Perrin**, 309p, 2003.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.; D.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L.A; FERNANDEZ, J. P. R. Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. **Ministério do Meio Ambiente**, v. 108, 2007.

AMORIM, R. F.; SILVA, F. M.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G. Comportamento sazonal e espacial da precipitação na microbacia Riacho Passagem/RN por técnicas de séries temporais e probabilística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015.

ANA, **Agência Nacional de Águas**. Sistema de informações hidrológicas, 2022. Disponível em:<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>Acesso em: 16 de maio de 2022.

ARAGÃO, J. O. R. Fatos sobre o fenômeno de El Niño e sua relação com as secas no Nordeste do Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 2-8, 1990.

ARAGÃO, J.O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines**, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.

ARTAXO, P.; DIAS, M. A. F. D. S.; NAGY, L.; LUIZÃO, F. J.; CUNHA, H. B. D.; QUESADA, C. A. N.; MARENGO, J. A.; KRUSCHE, A. Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da Floresta Amazônica. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 66, n. 3, p. 41-46, 2014.

BARCELOS. **Viverde**, 2022. Disponível em:<<https://www.viverde.tur.br/barcelos.html>>Acesso em: 2 de junho de 2022.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. *El Niño e La Niña*: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. UFRGS, Porto Alegre, 110 p., 2003.

BESSAT, F. A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico. **Terra Livre**, n. 20, p. 11-26, 2003.

BINDER, L.C. W. Climate change and watershed planning in Washington State. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 4, p. 915-926, 2006.

BOLETIM Nº 21 SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT. Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental – 18 de junho de 2021 - Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20210618_15-20210618%20-%20155537.pdf> Acesso: 21 jun. de 2021.

BOLSON, S.H.; HAONAT, A.I. A governança da água, vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 25, p. 223-248, 2016.

BUENO, Denise. Enchentes na Alemanha devem custar 5 bilhões de euros às seguradoras. **Sonho Seguro**, 2021. Confederação Alemã de Empresas e Seguros – GDV. Disponível em:< <https://www.sonhoseguro.com.br/2021/07/enchentes-na-alemanha-devem-custar-5-bilhoes-de-euros-as-seguradoras/>> Acesso em: 6 de junho de 2022.

CABALZAR, Aloísio; RADLER, Juliana. Cheia histórica no rio Negro põe em risco de segurança alimentar de comunidades. **Instituto Socioambiental**, 2021. Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas – IDAM. Disponível em:<<https://socioambiental.medium.com/cheia-hist%C3%B3rica-no-rio-negro-p%C3%B5e-em-risco-seguran%C3%A7a-alimentar-de-comunidades-90185fa1937d>> Acesso em: 10 de junho de 2022.

CAPOZZOLI, C.R.; CARDOSO, A.O.; FERRAZ, S.E.T. Padrões de variabilidade de vazão de rios nas principais bacias brasileiras e associação com índices climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 243-254, 2017.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 02, n. 02, p. 148-156, 2012.

CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Brasília: **Ministério da Integração Nacional**, vol.1, 133p., 1999.

CASTRO, B. M.; BRANDINI, F. P.; WAINER, I. E.; DOTTORI, M. O mar de amanhã, com as mudanças climáticas de hoje. **Ciência e Cultura**, pag. 40-42, 2010.

CHEIA CAUSA ESTRAGOS EM 58 DE 62 MUNICÍPIOS. **G1 Globo**, 2021. Defesa Civil do Amazonas. Disponível em:<<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/05/20/cheia-causa-estragos-em-58-de-62-municipios-no-amazonas.ghtml>> Acesso em: 27 de maio de 2022.

CLARKE, R. T. Hidrologia Estatística. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Livro da Coleção ABRH, Cap. 17, 1993.

COBLE, P.G. Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color. **Chemical Reviews**, v. 107, p. 402–418, 2007.

COELHO, C.; CAVALCANTI, I.; ITO, R.; LUZ, G.; SANTOS, L.; NOBRE, C. A.; PEZZA, A. B. As secas de 1998, 2005 e 2010. Análise climatológica. **Secas na Amazônia: Causas e Consequências**. Oficina de Textos Press, São Paulo, 89-116, 2013.

CONTI, José Bueno. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 70-75, 2005.

CORREA, M.G.G. **Dinâmica hidroclimática e o fenômeno ENOS na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.

COSTA, C.E.A.S. **Influência de variabilidade climática das chuvas sobre a erosividade**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

COSTA, C.E.A.S. BLANCO, C.J.C. Influência da variabilidade climática sobre a erosividade em Belém (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 509-520, 2018.

COSTA, C.E.A.S.; BLANCO, C.J.C.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F. Impact of climate change in the flow regimes of the Upper and Middle Amazon River. **Climatic Change**, v. 166, n. 3, p. 1-22, 2021.

COUTINHO, E. D. C.; ROCHA, E. J. P. D.; LIMA, A. M. M.; RIBEIRO, H. M. C.; GUTIERREZ, L. A. C. L.; BARBOSA, A. J. S.; TAVARES, P. A. Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas. Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 814-828, 2017.

COUTINHO, M. D. L.; COSTA, M. S.; SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; GOMES, A. C. S.; MORAES, M. D. C.; SANTOS, P. V. Balanço hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. **Revista Ciência e Natura**, v. 37, n. 04, p. 160170, 2015.

CLIMATE PREDICTION CENTER. **Historical El Niño and La Niña**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 23 de set. de 2020.

CPTEC - **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**, Disponível em <www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 11 ago. 2020.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; MENDIONDO, E.M. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 369-376, 2012.

CUNHA, G.R. El Niño Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.

DA CUNHA, L. V.; OLIVEIRA, R.; NUNES, V. B. Impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal. In: **La directiva marco del agua: realidades y futuros:(comunicaciones)**. Lisboa, Portugal. p. 520-527, 2002.

DE CARVALHO, J.A.L.; DA CUNHA, S.B. Terras caídas e consequências sociais na Costa do Miracauera, município de Itacoatiara-Amazonas, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-16, 2011.

DE OLIVEIRA, G.S. O El Niño e Você - O fenômeno climático - Editora **Transtec** - São José dos Campos (SP), março de 2001. Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br/saiba/Oque_el-nino.shtml> Acesso: 12 de abr. de 2021.

DE RESENDE, A. F.; NELSON, B. W.; FLORES, B. M.; DE ALMEIDA, D. R. Fire damage in seasonally flooded and upland forests of the Central Amazon. **Biotropica**, v. 46, n. 6, p. 643-646, 2014.

DE SOUSA, E.S.; DOS SANTOS, V.C.; COSTA, C.E.A.S. Influência de fenômenos climáticos sobre o regime de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. **Holos Environment**, v. 22, n. 1, p. 18-30, 2022.

DERECZYNSKI, C.P.; MENEZES, W.F. Meteorologia da Bacia de Campos. In: **Meteorologia e Oceanografia**. Campus, 2015. p. 1-54.

DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA CRESCE 29% EM 2021 E É O MAIOR DOS ÚLTIMOS 10 ANOS. **IMAZON**, 2022. Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) no Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON. Disponível em:<<https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-cresce-29-em-2021-e-o-maior-dos-ultimos-10-anos/>> Acesso em: 17 de maio de 2022.

DIAS, M. A. F. S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n. 71, p. 44-51, 2006.

DOS SANTOS, L.S.; DA SILVA JUNIOR, O.M.; DA ROCHA, M.A.N. Mapa de Múltiplas Ameaças: Um Sobreaviso a População Amazônica. **Redução**, 2 ed., p. 626-641. 2020.

ELIAS, Juliana. Rio Negro registra maior cheia em 119 anos em Manaus. **CNN Brasil**, 2021. Serviço Geológico do Brasil - SG-CPRM. Disponível em:<<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rio-negro-registra-a-maior-cheia-em-119-anos-em-manaus/>> Acesso em: 2 de junho de 2022.

ENCHENTES E TEMPESTADES DOMINARAM OS DESASTRES NATURAIS NOS ÚLTIMOS 50 ANOS. **ONU News**. Perspectiva Global Reportagens Humanas, 2021. Organização Meteorológica Mundial – OMM. Disponível em:<<https://news.un.org/pt/story/2021/07/1757572>> Acesso em: 26 de maio de 2022.

ESCARIÃO, R.D. **Modelagem hidrológica da bacia do rio Negro na Amazônia**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasil, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Mudanças Climáticas globais e a floresta amazônica. **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. São Paulo, Brasil: Rima Editora, p. 295, 2008.

FEARNSIDE, P. M. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 78, n. 1-3, p. 51-70, 1995.

FEITOSA, A. Classificação dos eventos climáticos extremos de precipitação no período outono-inverno: um estudo de caso sobre suas ocorrências no município de Palmares, Zona da Mata, Pernambuco. **Revista Ambientale**, v. 4, n. 1, p. 19-29, 2013.

FENNESSEY, N.; VOGEL, R. M. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 116, n. 4, p. 530-549, 1990.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FERREIRA, C.B.; DE MUSIS, C.R.; NOGUEIRA, J.S. Representações Sociais Sobre as Mudanças Climáticas Globais dos Formandos em Engenharia Civil da Universidade de Cuiabá. **UNICIÊNCIAS**, v. 20, n. 2, p. 76-81, 2016.

FIGLIUOLO; G. C. **Variabilidade de TSM no Atlântico Tropical em resposta às teleconexões de diferentes ENOS e seus impactos na precipitação na América do Sul**. 2017. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2017.

FIGUEIREDO, R. R.; AZEVEDO, A. A. DE; OLIVEIRA, P. D. M. Análise da correlação entre a escala visual-análoga e o Tinnitus Handicap Inventory na avaliação de pacientes com zumbido. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 75, p. 76-79, 2009.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J.L. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. **Brazilian Journal of Geology**, v. 41, p. 566-576, 2011.

FILIZOLA, N.; LATRUBESSE, E. M.; FRAIZY, P.; SOUZA, R.; GUIMARÃES, V.; GUYOT, J. L. Was the 2009 flood the most hazardous or the largest ever recorded in the Amazon? **Geomorphology**, v. 215, p. 99-105, 2014.

FLORES, B. M.; PIEDADE, M.T. F.; NELSON, B.W. Fire disturbance in Amazonian blackwater floodplain forests. **Plant Ecology & Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 319-327, 2014.

FOLEY, J. A.; BOTTA, A.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global biogeochemical cycles**, v. 16, n. 4, p. 79-1-79-20, 2002.

FU, R.; DICKINSON, R. E.; CHEN, M. AND WANG, H. How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon? **Journal of Climate**, v. 14, n. 20, p. 4003-4026, 2001.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI)**, 2012 – On-line. Disponível na Internet: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 15 ago 2020.

GOMES, D. C., DA SILVA, L. P., FERREIRA, N. S., DA COSTA LOBATO, R. R., DE OLIVEIRA SERRÃO, E. A.; LIMA, A. M. M. (2021). Impactos Climáticos na Erosão Hídrica do Solo para a Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v 28.

associated with *El Niño* and *La Niña* events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, p.2863-2880, 1998.GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.

GRIMM, A.M; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil

GUIMBERTEAU, M.; RONCHAIL, J.; ESPINOZA, J.C.; LENGAIGNE, M.; SULTAN, B.; POLCHER, J.; DRAPEAU, G.; GUYOTJ, L.; DUCHARNE, A.; CIAIS P. Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins.

Environmental Research Letters, v. 8, n. 1, p. 014035, 2013.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LO, K.; LEA, D.W.; MEDINA-ELIZADE, M. Global temperature change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p. 14288-14293, 2006.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p.77-92, 1977.

HORBE, A.M. C; OLIVEIRA, L.G.S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas-Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 753-759, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Área territorial: Barcelos – Amazonas (código: 1300409): IBGE, 2021. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/barcelos.html>> Acesso em: 4 jun. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Área territorial: São Gabriel da Cachoeira – Amazonas (código: 1303809): IBGE, 2021. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/sao-gabriel-da-cachoeira.html>> Acesso em: 4 jun. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS: junho 09, 2020. Disponível em <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465> Acesso em: 21 mar. 2021.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS: **Seca de 2010 na Amazônia foi a mais drástica já registrada**, 2011. Disponível em:<http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2639> Acesso em: 16 jun. 2021.
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA. Desvendando as fronteiras do conhecimento na Região Amazônica do Alto Rio Negro. Manaus, Amazonas. 350p. 2012.

IPCC. Summary for policymakers. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability; contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 2007 b. p. 7-22. Disponível em <<http://www.gtp89.dial.pipex.com/spm.pdf>. > Acesso em: 9 out. 2020.

JACOBS, J. M.; VOGEL, R. M. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 124, n. 6, p. 357-363, 1998.

KAYANO, M.T.; DE OLIVEIRA, C.P.; ANDREOLI, R.V. Interannual relations between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 10, p. 1439-1448, 2009.

KYIUNA, I.; ASSUMPCÃO, R. DE. Os fenômenos climáticos El niño e La niña e os preços de feijão no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas, São Paulo**, v. 31, n. 6, p. 25-44, 2001.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 372-397, 2005.

LEAN, J., BUNTON, C.B.; NOBRE, C.A.; ROWNTREE, P.R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. **Amazonian deforestation and climate**, v. 1, 1996.

LOPES, M.M.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; SOARES, J.B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **TRANSPORTES**, v. 21, n. 1, p. 59-66. 2013.

LOUREIRO, G.E.; FERNANDES, L.L.; ISHIHARA, J.H. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2015.

MAKARIEVA, A. M.; GORSHKOV, V.G.; LI, B.L. Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 1, p. 79-96, 2012.

MALHI, Y.; J. T. ROBERTS. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.

MARCUZZO, F.; OLIVEIRA, N.L.; CARDOSO, M.R.D. Tendência do Número de Dias de Chuva no Estado do Mato Grosso do Sul e Sua Relação com o Fenômeno ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 5, 2012.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International journal of climatology**, v. 12, n. 8, p. 853-863, 1992.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. Impacto das modificações da mudança climática: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil. Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 209-233, 2003.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século 21. **Ministério do Meio Ambiente**. Distrito Federal, Brasil. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2 ed., 163 p., 2007.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, 2011.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 73-85, 2012.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; Riveros, M. P.; Pabló, A. D. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31-44, 2015.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR, C. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. **São Paulo: Alana**, 2018.

MARINHO, R.R. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no arquipélago de Anavilhanas, rio Negro-Amazonas, Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil, 2019.

MARTINS, Bruna. Cheia histórica no Amazonas é uma mistura da variabilidade natural com mudanças climáticas. **O eco**, 2021. Disponível em: < <https://oeco.org.br/reportagens/cheia-historica-no-amazonas-e-uma-mistura-da-variabilidade-natural-com-mudancas-climaticas/>> Acesso em: 9 de junho de 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE. Parâmetros e diretrizes para a Política Nacional de Educação Ambiental no contexto das Mudanças Climáticas causadas pela ação humana. **Serie Educativa**. Brasília - DF, 2013.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MOHAMMADI, K.; GOUDARZI, N. Study of inter-correlations of solar radiation, wind speed and precipitation under the influence of El Niño Southern Oscillation (ENSO) in California. **Renewable Energy**, v. 120, p. 190-200, 2018.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MONTEIRO, J.C.; BACELLAR, L.A.P. Influência dos fatores geológicos, geomorfológicos e antrópicos da produção de fluxo de base em pequenas bacias hidrográficas na APA Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 2014.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, M. D. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475-483, 2012.

MOURA, M.M.; SANTOS, A.R.; PEZZOPANE, J.E.M.; ALEXANDRE, R.S.; SILVA, S.F.; PIMENTEL, S.M.; ANDRADE, M.S.S.; SILVA, F.G.R.; BRANCO, E.R.F.; MOREIRA, T.R.; SILVA, R.G.; CARVALHO, J.R. Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1639-1651, 2019.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION 2021. Disponível em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.

NOBRE, A.D. O futuro climático da Amazônia. **Relatório de Avaliação Científica**. São José dos Campos, São Paulo, 2014.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n.10, p.2464–2479, 1996.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G.A.C.F. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, n. 63, p. 9-26, 2016.

OLIVA, F.G. Climatologia e variabilidade dos principais sistemas meteorológicos atuantes no Brasil, relação com chuvas intensas e impactos relacionados. **GeoPUC, Rio de Janeiro**, v. 12, n. 23, p. p74-99, 2019.

OLIVEIRA, C. D.; DE CAROLI, A. A.; DE SOUZA AMARAL, A.; VILCA, O. L. Detecção de Fraudes, Anomalias e Erros em Análise de Dados Contábeis: um estudo com base em outliers. **Revista Eletrônica do Departamento de Ciências Contábeis & Departamento de Atuária e Métodos Quantitativos (REDECA)**, v. 1, n. 1, p. 102-127, 2014.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: **Seca de 2010 na Amazônia foi a mais drástica desde 1902**. Disponível em: <<http://pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/en/news/170-seca-de-2010-na-amazonia-foi-a-mais-drastica-desde-1902>> Acesso em: 17 jun. 2021.

PEARSON, A. V.; HARTLEY, H. O. Biometric Tables for Statisticians, Cambridge University Press. v. 2, 1972.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. D. Variabilidade climática. Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2003.

R CORE TEAM. 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 2.15.3. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available at <http://www.R-project.org/>.

RADLER, Juliana. Enchente no Rio Negro: Barcelos (AM) também registra recorde histórico. **Instituto Socioambiental**, 2021. Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental, do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em: <<https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias->

[socioambientais/enchente-no-rio-negro-barcelos-am-tambem-registra-recorde-historico](#)> Acesso em: 28 de junho de 2022.

REBELLO, E.R.G.; GOMES FILHO, M.F. As maiores cheias e secas no Amazonas e as possíveis influências dos fenômenos El Niño, La Niña, ODP E OMA, 2013.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. 2012.

REGUERO, B. G.; LOSADA, I. J.; DIAZ-SIMAL, P.; MENDEZ, F. J.; BECK, M. W. Effects of climate change on exposure to coastal flooding in Latin America and the Caribbean. **PLoS One**, v. 10, n. 7, 2015.

RODRIGUES, L. O.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S.O.; PEREIRA, M. L. T. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco (Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**. 115, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**. Vol. 2, p. 268-284, 1989.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Quantifying Southern Oscillation - precipitation relationships. **Journal of Climate**. Vol. 9, p. 1043-1059, 1996.

SATHICQ, M.B.; BAUER, D.L.; GÓMEZ, N. Influence of El Niño Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v.98, 26 - 33, 2015.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C.P.W.; MANZI, A.O. E CANDIDO, L.A. A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 7, p. 1396-1401, 2013.

SENHORAS, E.M. **A gestão ambiental e sustentável na Amazônia**. Atena Editora, 2020.

SEYLER, F.; CALMANT, S.; SILVA, J.; FILIZOLA, N.; COCHONNEAU, G.; BONNET, M.P.; COSTI, A. C. Z. Inundation risk in large tropical basins and potential survey from radar altimetry: example in the Amazon Basin. **Marine Geodesy**, n. 32, p. 303-319, 2009.

SIOLI, H. A limnologia ea sua importância em pesquisas da Amazônia. **Amazoniana: Limnologia et Oecologia Regionalis Systematis Fluminis Amazonas**, v. 1, n. 1, p. 11-35, 1965.

SOUSA, A. M. L.; DA ROCHA, E. J. P.; VITORINO, M. I.; DE SOUZA, P. J. O. P.; BOTELHO, M. N. Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos Enos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 13-24, 2015.

SOUSA, A. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de *Spearman*: o que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**, p. 19-19, 2019.

SOUSA, J.W.; ANDRADE, AV.C.; DA COSTA, D.B. Análise de episódios El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a variabilidade interanual de chuvas em Rio Branco, Acre, intervalo 1971-2010. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 5, 2021.

SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, n. 3-4, p. 177-191. 2005.

SPRACKLEN, D.V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C.M. Observações de aumento de chuvas tropicais precedidas de passagem de ar sobre florestas. **Natureza**, v. 489, n. 7415, pág. 282-285, 2012.

TAVARES, J. **Características da climatologia de Macapá-AP**. Caminhos de Geografia, v. 15, n. 50, 2014.

VALE, M.M.; ALVES, M.A.S.; LORINI, M.L. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia brasiliensis**, v. 13, n. 3, p. 518-535, 2009.

VIEIRA, S. **Estatística Básica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

ZANIN, P.R.; SATYAMURTY, P. Acoplamento hidrológico intersazonal e interbacias na América do Sul. **Journal of Hydrometeorology**, v. 22, n. 6, pág. 1609-1625, 2021.