



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

LUCAS LIMA RAIOL

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO COSTEIRA
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARACANÃ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM - PA

2024

LUCAS LIMA RAIOL

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO COSTEIRA
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARACANÃ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socioambiental

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

BELÉM - PA

2024

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

R149s Raiol, Lucas Lima.
Sustentabilidade hídrica como subsídio à gestão costeira da
bacia hidrográfica do rio Maracanã, Amazônia Oriental / Lucas
Lima Raiol. — 2024.
103 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Aline Maria Meiguins de Lima
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2024.

1. Recursos hídricos. 2. Indicadores. 3. Índice de
sustentabilidade hídrica. I. Título.

CDD 333.91

LUCAS LIMA RAIOL

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COMO SUBSÍDIO À GESTÃO COSTEIRA
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARACANÃ, AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

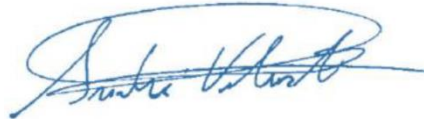
Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socioambiental

Orientadora: Aline Maria Meiguins de Lima

Data da defesa: 28/03/2024

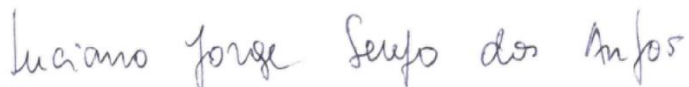
Banca Examinadora:



Prof. Andrés Velastegui-Montoya
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Doutor em Ciências Ambientais



Prof. Cleo Quaresma Dias Junior
Doutor em Clima e Meio Ambiente
Instituto Federal do Pará



Luciano Jorge Serejo dos Anjos
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

*Às mulheres da minha vida, minha mãe Clair, e à minha vó Creuza.
Vocês são minha inspiração para todo o sempre.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, na qual emana toda a energia do universo, algo ainda indescritível ainda nesse breve período de tempo de civilização humana.

Agradeço à minha mãe e minha vó Creuza, que desde sempre lutaram para eu ter uma melhor educação nessa vida. Eu devo tudo a elas.

Agradeço ao meu Pai e minha tia Piane, pelo apoio na minha estadia durante o mestrado na cidade de Belém, na qual foram essenciais para meu término do mestrado.

Agradeço à Dayla, que desde a graduação vem me acompanhando nessa jornada, sendo um anjo em minha vida.

Agradeço muito à Professora Aline pelo apoio incondicional, pois é uma grande inspiração no âmbito profissional e pessoal.

Agradeço à Capes pelo fomento à minha pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Estudos e Modelagens Hidroambientais (LEMHA) e sua equipe, por todo o suporte necessário no decorrer da pesquisa.

Á todos os familiares e amigos que colaboraram direta e indiretamente nessa pesquisa. Vocês foram essenciais.

*O Amor é a única coisa capaz de transcender as
dimensões do espaço e do tempo.
Dra. Amelia Brand – Filme Interestelar*

RESUMO

A pressão antrópica sobre os recursos hídricos vem aumentando em decorrência da falta de gestão eficiente, crescimento demográfico, e da exploração intensa dos recursos naturais. Nesse sentido, a bacia hidrográfica do rio Maracanã (BHRM), localizada na zona costeira do estado do Pará, possui particularidades que envolvem a influência dos regimes fluvial e de marés; seu uso potencial para o turismo, extrativismo e agrícola, além da necessidade da elaboração de pesquisas nessa região, principalmente através de uma análise integrada e sistêmica. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi analisar a sustentabilidade hídrica da BHRM, por meio do Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH), afim de subsidiar no planejamento integrado da bacia. Os procedimentos metodológicos envolveram: I) Construção dos indicadores da dimensão *Hydrology for the Environment, Life and Policy* (HELP) nas unidades hídricas da bacia, II) Cálculo do ISH nas unidades hídricas da bacia, III) Compartimentação da bacia, e IV) análise estatística dos resultados. Os resultados mostraram que a degradação ambiental nas unidades hídricas da bacia, sobretudo nas regiões de médio e alto curso, está correlacionada com a porcentagem de cobertura vegetal. Os baixos indicadores sociais e políticos dos municípios refletem na gestão da BHRM. O ISH apresentou valor intermediário de 0,63, sendo o indicador Ambiental e o Político os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH. Portanto, são necessários avanços na governança da água na BHRM, no que envolve sobretudo os instrumentos das políticas do gerenciamento de recursos hídricos e costeiro, visando uma gestão integrada da BHRM. Os resultados podem contribuir para elencar as potencialidades e fragilidades apontadas na pesquisa, subsidiando o planejamento integrado da BHRM.

Palavras-chaves: recursos hídricos; indicadores; índice de sustentabilidade hídrica.

ABSTRACT

Anthropogenic pressure on water resources has been increasing due to the lack of efficient management, demographic growth, and the intense exploitation of natural resources. In this sense, the Maracanã River Basin (BHRM), located in the coastal zone of the state of Pará, has particularities that involve the influence of river and tidal regimes; its potential use for tourism, extractivism, and agriculture, as well as the need to carry out research in this region, mainly through an integrated and systemic analysis. Therefore, the research aimed to analyze the water sustainability of BHRM, through the Water Sustainability Index (WSI), to support the integrated planning of the basin. The methodological procedures involved: I) construction of indicators of the Hydrology for the Environment, Life and Policy (HELP) dimension in the water units of the basin, II) Calculation of the WSI in the water units of the basin, III) Compartmentalization of the basin, and IV) analysis statistics of results. The results showed that environmental degradation in the basin's water units, especially in the middle and upper reaches regions, it is correlated with the percentage of vegetation cover. The low social and political indicators of the municipalities are reflected in the management of BHRM. The WSI presented an intermediate value of 0.63, with the Environmental and Political indicators showing the highest values, being 0.86 and 0.74 respectively. The lowest indicators were Hydrological (0.60) and Social (0.32), which were reflected in the average final value of the WSI. Thus, advances are needed in water governance in the BHRM, which mainly involves the instruments of water and coastal resource management policies, aiming for an integrated management of the BHRM. The results can contribute to listing the potentialities and weaknesses highlighted in the research, supporting the integrated planning of BHRM.

Keywords: water resources; indicators; water sustainability index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistema Sociecológico (SEE).	24
Figura 2- Regiões hidrográficas do estado do Pará.	26
Figura 3- Setorização da zona costeira Paraense.	30
Figura 4- Localização da BHRM, nordeste Paraense.	33
Figura 5- Fluxograma metodológico.	35
Figura 6- Fluxograma metodológico do modelo Blueprint.	37
Figura 7- Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra e dos períodos de precipitação.	41
Figura 8- As três dimensões do IDHM.	44
Figura 9- Composição das dimensões e indicadores do IPS.	45
Figura 10- Média da precipitação mensal entre os anos de 1950 a 2000.	51
Figura 11- Classes do Blueprint a) BPA; b) BPC; c) BPS.	53
Figura 12- Gráfico de boxplot dos períodos do BPA, BPC e BPS.	54
Figura 13- Dendrograma do BPC com o BPA.	55
Figura 14- Dendrograma do BPS com o BPA.	56
Figura 15- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação anual e BPA.	58
Figura 16- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação do trimestre seco e BPC.	58
Figura 17- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação do trimestre seco e BPS.	59
Figura 18- Uso e cobertura da terra da BHRM.	61
Figura 19- Mapa da cobertura vegetal na BHRM.	63
Figura 20- Mapa do IDHM da BHRM.	65
Figura 21- Mapa do IPS da BHRM.	66
Figura 22- Mapa da capacidade política da BHRM.	67
Figura 23- Resultado do ISH e Indicadores da dimensão HELP.	69
Figura 24- Média do ISH e dos Indicadores HELP da BHRM.	70
Figura 25- ISH e a compartimentação da BHRM.	72
Figura 26- Scatterplot da distribuição e correlação de Spearman entre os indicadores e ISH na compartimentação da bacia.	73

Figura 27- ACP dos indicadores e do ISH sobre a compartimentação da bacia.	74
Figura 28- Fluxograma de medidas e ações a serem tomadas relacionadas à ge: recursos hídricos e ao gerenciamento costeiro integrado na BHRM.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classes do TerraClass e suas definições.....	38
Tabela 2- Critérios adotados para a seleção das unidades ecológicas (UE).....	39
Tabela 3- Classes do Blueprint e seus respectivos valores e definição.	42
Tabela 4- p-valores do teste de Shapiro-Wilk das variáveis analisadas do modelo Blueprint	42
Tabela 5- Parâmetros do indicador Político dos municípios que compõe a bacia.	46
Tabela 6- Variáveis que compõe o WSI e seus respectivos pesos.	48
Tabela 7- p-valores do teste de Shapiro-Wilk da dimensão HELP e do ISH.....	50
Tabela 8- Quantificação das classes de uso e cobertura da terra.....	61
Tabela 9- Valores de IDHM e IPS para os municípios que compõe a BHRM.	64
Tabela 10- Variáveis selecionadas sobre a compartimentação da bacia e sua correlação com o primeiro eixo da ACP.	75
Tabela 11- Síntese dos resultados encontrados da dimensão HELP e do ISH nos sistemas sociológicos da bacia.....	76

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas
BHRM – Bacia Hidrográfica do Rio Maracanã
BP – Blueprint
BPA – Blueprint Anual
BPC – Blueprint Chuvoso
BPS – Blueprint Seco
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COMDEC – Coordenadorias Municipais de Defesas Civas
CWSI – Canadian Water Sustainability Index
EEA – European Environment Agency
EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
ENOS – El Niño-Oscilação Sul
FAO – Food and Agriculture Organization
FPEIR – Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta
GCI – Gerenciamento Costeiro Integrado
GI-GERCO – Grupo de Integração de Gerenciamento Costeiro
HELP – Hydrology for the Environment, Life and Policy
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IMAZON – Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia
IPS – Índice de Progresso Social
ISH – Índice de Sustentabilidade Hídrica
LEPLAC – Plano de Levantamento da Plataforma Continental
MDZC – Macrodiagnóstico da Zona Costeira
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MRHs – Macrorregiões Hidrográficas
OECD – Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PAF-ZC – Planos de Ação Federal da Zona Costeira
PEGC – Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro

PEGC/PA – Política Estadual de Gerenciamento Costeiro
PEIR – Pressão-Estado-Impacto-Resposta
PER – Pressão-Estado-Resposta
PERH – Política Estadual de Recursos Hídricos
PGI – Plano de Gestão Integrada da Orla
PGZC – Plano de Gestão da Zona Costeira
PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNRM – Política Nacional para os Recursos do Mar
PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PMGC – Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro
RQA-ZC – Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira
RESEX – Reserva Extrativista
SMA – Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira
SMAZC – Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira
S-RESS – Stress-Response Environmental Statistical System
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
SSE – Sistemas Socioecológicos
SIGERCO – Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
TAGP – Termo de Adesão à Gestão das Praias
TGS – Teoria Geral dos Sistemas
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
UE – Unidades Ecológicas
UC – Unidade de Conservação
UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UPLANs – Unidades Hidrográficas de Planejamento
WJWSI – West Java Water Sustainability Index
WPI – Water Poverty Index
WSI – Watershed Sustainability Index
ZEEC – Zoneamento Ecológico- Econômico Costeiro
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZIC – Zona de Influência Costeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	JUSTIFICATIVA	20
3	PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE	21
4	OBJETIVOS	22
4.1	Objetivo Geral	22
4.2	Objetivos Específicos	22
5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
5.1	Sistemas Sociecológicos	23
5.2	Gestão de Recursos Hídricos no Brasil e no Estado do Pará	25
5.3	Gerenciamento costeiro integrado à nível nacional e estadual	27
5.4	Índice de sustentabilidade hídrica	31
6	METODOLOGIA	33
6.1	Área de Estudo	33
6.2	Procedimentos metodológicos	34
6.2.1	Indicador Hidrológico	36
6.2.2	Indicador Ambiental	43
6.2.3	Indicador Social	43
6.2.4	Indicador Político	46
6.3	Cálculo do Índice de Sustentabilidade Hídrica da Bacia	47
6.4	Propostas para o Gerenciamento Costeiro Integrado	48
6.5	Análise Estatística	49
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
7.1	Modelo Blueprint aplicado à BHRM	51
7.2	Avaliação do Indicador Ambiental	60
7.3	Avaliação Indicador Social	63

7.4	Avaliação do indicador Político	67
7.5	Sustentabilidade Hídrica aplicado à gestão costeira da BHRM.....	68
8	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS.....	83
	APÊNDICE A- Scripts das análises estatística realizada no R	93
	APÊNDICE B- Resultado dos Parâmetros Políticos dos Municípios da Bacia do Rio Maracanã	102

1 INTRODUÇÃO

As novas concepções e as novas formas de compreender o mundo constituem-se em uma interpretação integrada da natureza, exigindo visões mais abrangentes, em contraposição à ótica reducionista. Nesse sentido, a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) visa melhor utilizar os diversos conhecimentos para solucionar problemas cada vez mais complexos e emergentes (Bertalanffy, 2008; Lopes; Silva; Goulart, 2015).

A complexidade dos sistemas hídricos cresceu devido à diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e pela deterioração da qualidade das águas. O planejamento da ocupação da bacia hidrográfica torna-se assim uma necessidade diante uma sociedade com usos crescentes e desordenados dos recursos hídricos (Tucci, 2001).

Para Collischonn e Dornelles (2015) a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico sujeito a entrada de água (eventos de precipitação) que geram saídas de água (escoamento e evapotranspiração). Ainda segundo os autores a bacia transforma uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo (escoamento), sendo influenciada por outros fatores como relevo, geomorfologia, cobertura vegetal e uso da terra.

A bacia hidrográfica é área delimitada topograficamente por um sistema de drenagem aberto e dinâmico, se relacionando com os elementos desse sistema, tais como rochas, sedimentos, clima, geomorfologia, hidrologia, vegetação, solo, e variáveis sociais (Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021). Portanto, é utilizada também como unidade para análises físicas, socioeconômica e política adequada para o seu planejamento e gestão, visto sua importância para os diversos organismos vivos e atividades como agricultura e indústria (Wang *et al.*, 2016). Com isso a gestão de bacia hidrográficas contribui visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, através dos instrumentos e tomadas de decisão relacionados aos processos ecológicos, da terra e da água (Katusiime; Schütt, 2020).

No entanto diversos fatores naturais e sobretudo antrópicos podem alterar a dinâmica de funcionamento de uma bacia hidrográfica, ocasionando mudanças na biodiversidade e nas diversas atividades que usufruem da mesma. Nesse sentido, Leal (1995) afirma que a bacia hidrográfica por apresentar os elementos físicos, biológicos e humanos que compõem o meio, a bacia pode ser considerada como uma boa unidade de gestão. Portanto, impõe abordar todos seus elementos (água, solo, flora, fauna, uso e

ocupação da terra, etc.) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos naturais e sociais inter-relacionados e dinâmicos.

Em todo o mundo, as tendências demográficas, econômicas e tecnológicas aceleraram a capacidade humana de modificar, consciente e inconscientemente o ambiente, afetando o clima global (Fassoni-Andrade *et al.*, 2021). Isto, por sua vez, tem impactos nas quantidades e distribuições espaciais e temporais de precipitação que cai nas bacias hidrográficas, incluindo também as mudanças da paisagem, devido ao crescimento da produção de alimentos e energia em decorrência do aumento dos centros urbanos (Mello *et al.*, 2020). Em decorrência, ocorre a alteração da qualidade das águas doces, a qual toda a vida terrestre depende tanto fisicamente quanto economicamente (Cosgrove; Loucks, 2015).

Com o crescimento demográfico e exploração da água, os recursos naturais tem se deteriorado, o que resultou em uma maior preocupação com a quantificação dos impactos que a exploração humana provoca nas bacias hidrográficas (Bu *et al.*, 2020; Meng; Wu, 2021; Wang *et al.*, 2022). Isso ocasiona a diminuição e escassez da disponibilidade, e a deterioração da qualidade hídrica, o que representa uma enorme ameaça ao desenvolvimento sustentável regional (Bu *et al.*, 2020; Meng; Wu, 2021; Wang *et al.*, 2022).

No Brasil, os conflitos sobre os múltiplos usos da água são intensamente desencadeados nos anos de 1980, por conta do aumento da construção de hidroelétricas, poluição hídrica causada pela ausência de tratamento de esgotos domiciliares e industriais, e pela demanda de irrigação causada pela agricultura e pecuária extensiva (Schussel; Nascimento Neto, 2015; Velastegui-Montoya; Lima; Adami, 2020). Nesse contexto, surge a elaboração da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (Lei nº 9433/97), o que trouxe elementos importantes para o gerenciamento de recursos hídricos, através de um manejo integrado considerando a ocupação da paisagem, promoção dos usos múltiplos da água, a estimulação de uma gestão descentralizada, necessidade de planejamento nos diferentes níveis, instrumentos de gestão e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (Silva *et al.*, 2021).

As bacias na região Amazônica apresentam particularidades devido à complexidade do bioma e quanto as atividades que são desenvolvidas na mesma ao longo dos diversos históricos e contextos inseridos em uma região marcada por diversos processos e conflitos. A mesorregião do nordeste Paraense apresenta um histórico de ocupação marcado primeiramente pelo extrativismo vegetal no início da colonização

pelos europeus, mas as necessidades de ocupação da Amazônia perante as outras nações fizeram com que a produção agrícola se desenvolvesse e ganhasse importância nacional, bem como a abertura de estradas que culminou no surgimento de núcleos urbanos. (Cordeiro; Arbage; Schwartz, 2017).

Posteriormente ocorreu a abertura da Ferrovia Belém-Bragança que permitiu maior valorização das estradas no interior do território, na qual aconteceu primeiramente nessa parte do Estado do Pará, mais precisamente na zona Bragantina, favorecendo o surgimento de alguns núcleos urbanos ao longo da estrada de ferro (Sousa, 2015). Em 1929, a agricultura da região do nordeste Paraense foi impulsionada por meio do plantio de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), sobretudo no município de Tomé-Açu, onde posteriormente houve uma nova onda de migrantes, vindos em sua maioria do Sul do Brasil (Cordeiro; Arbage; Schwartz, 2017).

Na Amazônia umas das dificuldades é a eficiência na gestão dos recursos hídricos, principalmente de bacias exorréicas na zona costeira amazônica, visto no que concerne seu uso e ocupação, e na implementação das políticas existentes, como a PNRH, sob a Lei 9.433/1997 que prevê estudos necessários para a gestão de bacias hidrográficas, bem como da integração com outros instrumentos, como o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), através da Lei 7.661/1998 (Nicolodi; Zamboni; Barroso, 2009).

Para compreender essas transformações socioambientais, são utilizados índices de sustentabilidade, nas quais essas ferramentas mostram-se essenciais para avaliar a gestão de recursos hídricos, seu estado de degradação e a governança da água, bem como subsidiando em políticas voltadas para a gestão ambiental e dos recursos hídricos. Dessa forma, em um mundo onde cada vez mais o consumo hídrico insustentável tende a aumentar, são necessárias ferramentas que auxiliam na tomada de decisão e medidas de mitigação, visando o uso racional da água (Ferreira; Lima; Côrrea, 2020).

2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa é voltada para Bacia Hidrográfica do rio Maracanã (BHRM), visando fortalecer os estudos voltados à análise integrada e sistêmica, com a utilização de indicadores que permitem uma visão holística na avaliação do uso sustentável da bacia hidrográfica. Além disto, o mesmo tem a premissa de contribuir com o gerenciamento costeiro, dada a sua localização, com a influência dos regimes fluvial e de marés; seu uso potencial para o turismo e extrativismo vegetal e animal. A pesquisa encontrada mais próxima foi a desenvolvida por Silva *et al.* (2021) para a bacia do rio Marapanim, na qual aplicou-se o ISH, sendo a mesma adjacente à bacia do rio Maracanã e possuindo as seguintes características: bacia exorréica e costeira, e informações econômicas, sociais e ambientais semelhantes.

A BHRM localizada na mesorregião do nordeste Paraense, é composta por diversas atividades presente nos municípios que os compões, destacando-se a pecuária, agricultura de pequeno porte, mineração e do cultivo do dendê no município de Bonito, que podem afetar seu funcionamento como unidade hídrica e geoambiental, dada sua importância para a biodiversidade e conservação dos ecossistemas fluviomarinhas.

Diante exposto se faz necessário uma análise integrada para avaliar os impactos das atividades humanas desenvolvidas ao longo da bacia, e para conhecer o estado atual de conservação e na identificação das áreas essenciais para manter a qualidade ambiental. Outra importância, é a contribuição de analisar fatores sociais, econômicos e ambientais, afim de definir medidas e propostas para gestão hídrica e costeira, no que concerne seu uso sustentável, auxiliando no desenvolvimento de políticas públicas, e na tomada de decisão da gestão de recursos hídricos e planejamento ambiental da bacia.

3 PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

A pesquisa será baseada no seguinte problema: A BHRM apresenta índices de sustentabilidade hídrica que influenciam suas limitações, fragilidades e potencialidades quanto ao uso dos seus recursos naturais e na sua gestão costeira?

Para o problema de pesquisa foram delimitadas as hipóteses para responder a essas questões:

- ✓ A BHRM, por estar na região de colonização mais antiga do estado do Pará, apresenta significativas mudanças na paisagem, que implicam em impactos negativos no uso dos recursos naturais;
- ✓ A BHRM tende a apresentar unidades de sustentabilidade hídricas que refletem as condições socioeconômicas e de saneamento básico insuficiente dos seus municípios componentes.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Analisar a sustentabilidade hídrica na BHRM como subsídio às ações de planejamento ambiental e gestão costeira integrada.

4.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Analisar os fatores hidrológicos, ambientais, sociais e políticos da BHRM;
- ✓ Aplicar o Índice de Sustentabilidade Hídrica na BHRM;
- ✓ Avaliar os resultados encontrados a partir do conhecimento de suas fragilidades e potencialidades, como subsídio ao ordenamento territorial e a gestão costeira integrada.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Sistemas Soci ecológicos

Os problemas ambientais atuais são sistêmicos, o que significa que estão interligados e são interdependentes. A extinção de espécies animais e vegetais cresce, cada vez mais, numa escala massiva, além da escassez dos recursos e da degradação do meio ambiente, aspectos que se combinam com populações em rápida expansão, o que leva ao colapso das comunidades locais e dos recursos naturais (Capra, 1998).

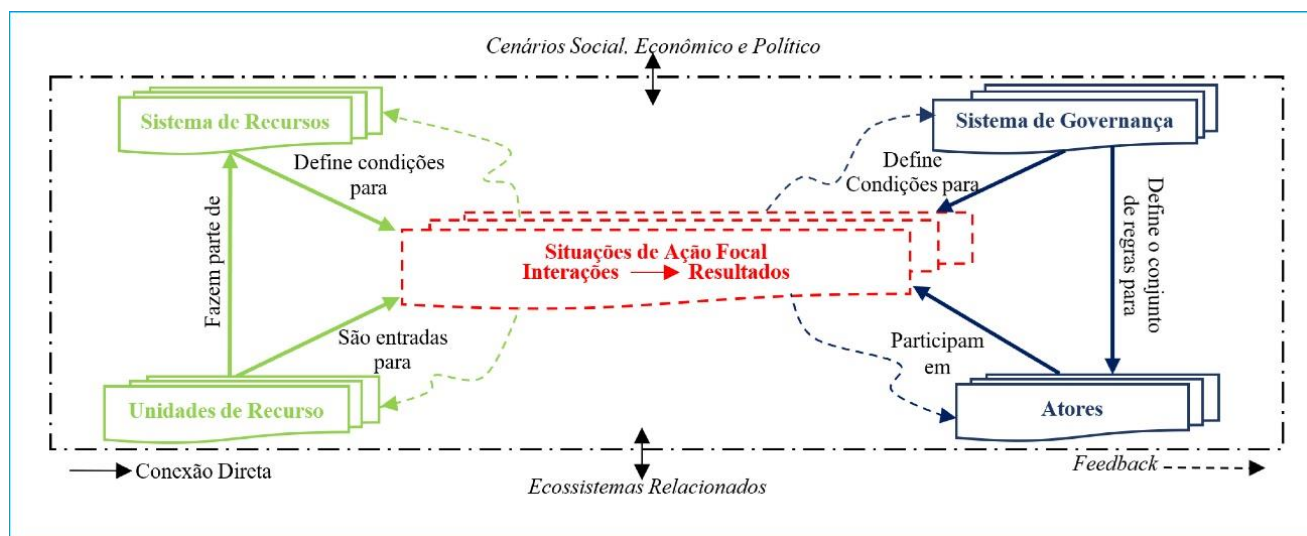
Desse modo, surge o conceito de Sistemas Socioecológicos (SSE), na qual busca a capacidade de reunir os elementos que compõem o ambiente, ou seja, o ser humano, elementos naturais e construídos, e suas inter-relações, que podem ser entendidas dentro da visão sistêmica de interdependência (Freitas *et al.*, 2024). Essa interpretação foi se aprofundando e se consolidando à medida que as economias mundiais se industrializavam. No entanto, ao decorrer dos tempos, as crises econômica, social e ambiental do século 20 tornaram cada vez mais difícil manter essa interpretação mecanicista da economia como um circuito fechado isolado de seu ambiente natural (Menezes; Moraes, 2023).

No contexto atual, a economia, os subsistemas sociais e ecológicos são considerados sistemas abertos, havendo uma inter-relação entre si, onde todos os sistemas se alimentam (Menezes; Moraes, 2023). Essas abordagens sistêmicas permitem observar fenômenos não apenas isolados, mas entender as relações com outros fenômenos que interferem e são interferidos, permitindo oportunidades promissoras para criar conceitos e entender mudanças fundamentais em SEE entrelaçados (Garcia; Hertz; Schlüter, 2020).

Sendo assim, o conceito de SEE analisa a gestão dos recursos naturais por meio da conexão dos sistemas ecológicos com fenômenos socioculturais que influenciam a interações dos atores na gestão dos recursos e criam feedbacks em várias escalas espaciais, através da cooperação e aprendizagem (Ostrom, 1990).

Com a finalidade de ampliar a aplicação dessa estrutura para além dos recursos de uso comum, McGinnis e Ostrom (2014), apresentaram uma reformulação dos SEE (Figura 1), baseada por Ostrom (2007, 2009).

Figura 1- Sistema Sociocológico (SEE).



Fonte: Lima, Araújo e Ribeiro (2022) *apud* McGinnis e Ostrom (2014).

Na qual o SSE é composto de categorias de primeiro nível (sistema de recursos, unidades de recurso, sistema de governança e atores), que possuem variáveis em níveis inferiores e são entradas e saídas para a situação de ação focal (elemento que transforma as ações de entrada em resultados em decorrência das atividades dos múltiplos atores). As situações de ação focal podem afetar qualquer uma das outras variáveis do primeiro nível, ou seja, gerar *feedbacks*, e as variáveis do primeiro nível desencadeiam conexões diretas entre si e com as situações de ação focal (McGinnis; Ostrom, 2014; Lima; Araújo; Ribeiro, 2022).

No contexto da gestão das águas, o SEE se aplica ao propósito de buscar entender a governança da água como processo político-institucional e socioecológico, compreendendo como a sociedade civil, estado e mercado se organizam em suas redes para a governança do recurso natural (Marques *et al.*, 2022). A transição socioecológica tende a ocorrer em função de choques no sistema biofísico ou sociopolítico em relação a sua capacidade de resiliência e seu processo de governança adaptativa, resultando em uma construção de uma plataforma institucional multi-atores, que estabeleça interface e que seja capaz de dialogar com políticas públicas (Policy) em vários níveis (Novaes, 2004; Marques *et al.*, 2022).

5.2 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil e no Estado do Pará

A gestão de bacias hidrográficas é uma abordagem holística que retrata a degradação a terra, buscando manter o equilíbrio ecológico, levando melhorias consideráveis nas condições socioeconômicas e agropecuárias (Bhardwaj; Sharma; Singh, 2020). Além disso, busca também auxiliar na gestão de riscos e desastres, como controle de inundações, secas e estiagem, e erosão do solo (Kagaya; Wada, 2021).

O marco da gestão sobre águas no Brasil, teve seu início por meio de dispositivos constitucionais, onde foi uma condição imposta à União por meio da Constituição Federal de 1934, no artigo 5°. Sob a ótica da Constituição, o primeiro marco referente aos recursos hídricos no Brasil foi promulgado, o Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934) (Silva *et al.*, 2021). Outro momento importante foi durante a década de 1970, na qual teve a criação do Plano Nacional de Saneamento (Ioris, 2006; Silva *et al.*, 2021).

Diante dos eventos que ocorreram (Conferência de Estocolmo em 1972 e Conferência das Nações Unidas sobre Água em 1977), bem como interesse acerca de questões ambientais, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) (Lei nº 6.938/1981) entrou em vigor, estabelecendo a proteção dos ecossistemas e das áreas ameaçadas pelo processo de degradação como uma medida necessária. Esse dispositivo normativo criou uma integração entre os diferentes níveis administrativos (Município, Estado e União) com atribuições relacionadas a proteção ambiental através do Sistema Nacional de Meio Ambiente, como também criou um órgão nacional deliberativo e consultivo, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) responsável por estabelecer normas relativas aos recursos naturais brasileiros (Silva *et al.*, 2021).

A Constituição Federal de 1988 mudou, em alguns aspectos, parte do texto do Código de Águas, estabelecendo todos os recursos naturais de bens públicos (incluindo às águas) e de uso comum, incumbindo, à União, o dever de legislar sobre o domínio os recursos naturais, trouxe atribuições para os Estados e criou o SINGREH (Silva *et al.*, 2021; Silva Netto, 2022).

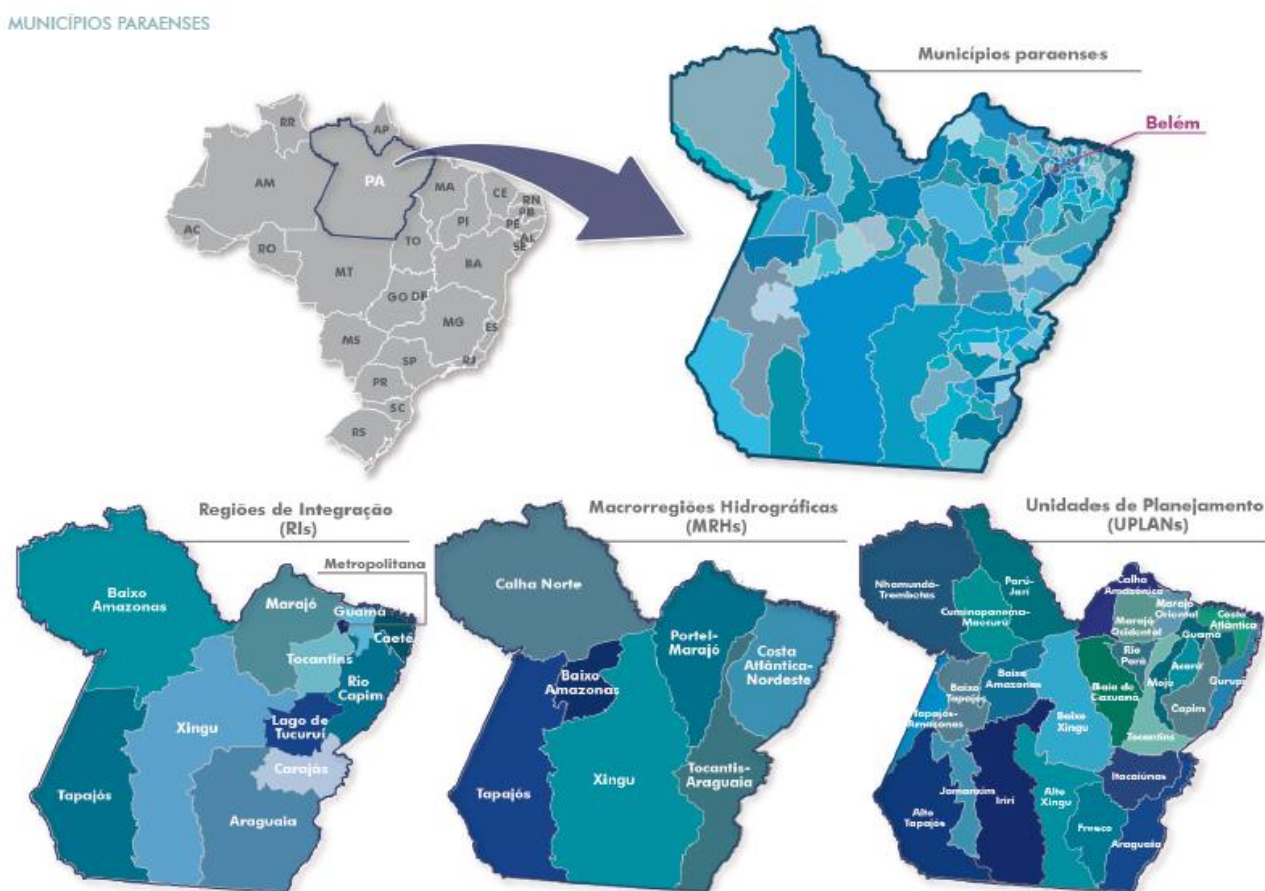
Atualmente a gestão dos recursos hídricos no Brasil, é um dos elementos da governança, e essa gestão é regida pela Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997), que estabeleceu a PNRH. Tal modelo de gestão está, institucionalmente, organizado no SINGREH, composto de entidades que formulam e que implementam a política com base nos instrumentos de gestão (Lima; Araújo; Ribeiro, 2022). Este dispositivo reforça o disposto na Constituição Federal de 1988 e trata a água como um recurso natural. Os princípios da

PNRH são pautados nos "Princípios de Dublin", presentes na Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável de 1992 (Bressiane *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2021).

No estado do Pará, os recursos hídricos foram regulamentados pela Lei Estadual nº 6.381 de 25 de julho de 2001, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), estabelecendo sobretudo os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos (Pará, 2001). Antes disso, o primeiro regulamento estadual voltado à temática dos recursos hídricos foi a lei nº 5.793/1994, que tratava da Política Minerária e Hídrica do Pará (Cirilo; Almeida, 2022).

Posteriormente através Conselho Estadual de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 04/2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), foi realizada a divisão do estado em 11 regiões de integração (Figura 2), e 7 regiões denominadas Macrorregiões Hidrográficas (MRHs) que, por sua vez, são subdivididas em 26 Unidades Hidrográficas de Planejamento (UPLANs) (Pará, 2021).

Figura 2- Regiões hidrográficas do estado do Pará.



Fonte: Pará (2021).

No entanto, os estados da região norte são os que menos avançaram à despeito da adoção dos instrumentos de gestão baseadas nas legislações estaduais de recursos hídricos, e na criação de Comitês de Bacia Hidrográfica em relação a outras regiões (Cirilo; Almeida, 2022). Pois, ainda falta a implementação integral de alguns instrumentos da PNRH, como: Enquadramento dos corpos d'águas; incompatibilidades legislativas da outorga de direito de uso dos recursos hídricos; ausência da aplicação do instrumento de cobrança; falta de regulamentação de compensação dos municípios; e o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos desatualizado (Pará, 2021).

Estes entraves, estão relacionados à problemas estruturais abordados por Cirilo e Almeida (2022), na qual foi observada uma necessidade de planejamento estratégico, aliada à criação de uma institucionalização e destinação de orçamento exclusivos para a gestão de recursos hídricos; recursos humanos e materiais em quantidade e qualidade suficientes; investimento em pesquisa, monitoramento e fiscalização. Toda essa problemática, é comprovada pela falta de efetividade dos instrumentos e dos comitês de bacia, destacando-se o primeiro Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do estado do Pará, o CBH do Rio Marapanim, na qual encontra dificuldades estruturais e institucionais para seu efetivo estabelecimento (Cirilo; Almeida, 2022; Silva Júnior *et al.*, 2023).

5.3 Gerenciamento costeiro integrado à nível nacional e estadual

No Brasil, os primeiros debates com ênfase nas ideias gerais do Gerenciamento costeiro integrado (GCI) ocorreram a partir da década de 1970, no contexto das discussões ambientais globais emergidas na Conferência de Estocolmo em 1972 (Schmitz; Nicolodi; Gruber, 2023). Um marco importante da mesma década é a instituição da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), que possui a finalidade de coordenar os assuntos relativos à consecução da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e a responsabilidade pela elaboração do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e de suas atualizações, do Plano Setorial para os Recursos do Mar, e do Plano de Levantamento da Plataforma Continental (LEPLAC) (Cirm, 2024; Schmitz; Nicolodi; Gruber, 2023).

O PNGC, instituído pela Lei 7.661, de 16/05/88, cujos detalhamentos e operacionalização foram objeto de Resolução da CIRM, aprovada após audiência do CONAMA. Além disso, no âmbito da CIRM, por Portaria Ministerial nº 0440, de 20 de

dezembro de 1996, foi criado o Grupo de Integração de Gerenciamento Costeiro (GIGERCO), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), instituído com o propósito de promover a articulação das Ações Federais na Zona Costeira a partir dos Planos de Ação Federal da Zona Costeira (PAF-ZC) (Brasil, 1988; Cirm, 2024).

Posteriormente, ocorreu elaboração o PNGC II, que foi aprovado pelo CIRM em 3 de dezembro de 1997, a qual teve como objetivo a revisão adequada do PNGC à sua prática atual, contemplando, assim, a experiência acumulada no âmbito do MMA e pelos diversos executores de suas atividades, incorporando, conseqüentemente, as novas demandas surgidas no âmbito da sociedade, cujo marco balizador está representado nos documentos gerados pela Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como RIO-92, destacando-se a chamada “Declaração do Rio sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento” e a “Agenda 21” (Cirm, 1997).

O decreto 5.300/04 regulamentou o PNGC e trouxe alguns instrumentos e estratégias adotados pelas três esferas de governo, sendo eles: PNGC; PAF-ZC; Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC); Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC); Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC); Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SIGERCO); Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMA); Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA-ZC); Zoneamento Ecológico- Econômico Costeiro (ZEEC); Macrodiagnóstico da Zona Costeira (MDZC); e Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto Orla (Brasil, 2004; Scherer; Asmus; Gandra, 2018).

Em relação a área de abrangência do PNGC, esta foi estabelecido no PNGC II (Brasil, 1997), sendo a Zona Costeira definida como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo as seguintes faixas:

a) Faixa Marítima - é a faixa que se estende mar afora distando 12 milhas marítimas das Linhas de Base estabelecidas de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, compreendendo a totalidade do Mar Territorial.

b) Faixa Terrestre - é a faixa do continente formada pelos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Zona Costeira, a saber:

i) os municípios defrontantes com o mar, assim considerados em listagem desta classe, estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);

ii) os municípios não defrontantes com o mar que se localizem nas regiões metropolitanas litorâneas;

iii) os municípios contíguos às grandes cidades e às capitais estaduais litorâneas, que apresentem processo de conurbação;

iv) os municípios próximos ao litoral, até 50 km da linha de costa, que aloquem, em seu território, atividades ou infra-estruturas de grande impacto ambiental sobre a Zona Costeira, ou ecossistemas costeiros de alta relevância;

v) os municípios estuarinos-lagunares, mesmo que não diretamente defrontantes com o mar, dada a relevância destes ambientes para a dinâmica marítimo-litorânea; e

vi) os municípios que, mesmo não defrontantes com o mar, tenham todos seus limites estabelecidos com os municípios referidos nas alíneas anteriores (Brasil, 1997).

Dos municípios do estado do Pará presentes dentro da faixa terrestre estão 25 municípios sendo: Afuá, Chaves, Soure, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Barcarena, Belém, Ananindeua, Santo Antônio do Tauá, Colares, Benevides, Vigia, São Caetano de Odivelas, Curuçá, Marapanim, Magalhães Barata, Maracanã, Salinópolis, São João de Pirabás, Primavera, Bragança, Augusto Corrêa, Vizeu, Santa Bárbara do Pará e Quatipuru (Brasil, 1997).

No estado do Pará, a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA), instituída pela Lei nº 9.064, em 27 de maio 2020, é considerada um marco para as comunidades costeiras, propondo em suas diretrizes o acesso à informação por meio do SIGERCO e do Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMAZC), e de incentivar a implementação dos Comitês Técnicos para a gestão integrada da zona costeira (Semas, 2020).

Dentre a região costeira paraense, estão presentes 21 Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral e de Uso Sustentável, sendo 3 de Proteção Integral (2 Refúgios de Vida Silvestre, e 1 Monumento Natural) e 18 de Uso Sustentável (14 Reservas Extrativistas, 2 Áreas de Proteção Ambiental, 1 Floresta Nacional e 1 de Reserva de Desenvolvimento Sustentável), totalizando 21 UC's, ocupando cerca de 67.500 km² do estado do Pará (Semas, 2020).

No PEGC/PA destaca-se os instrumentos, sendo: Plano de Capacitação e Difusão de Conhecimentos sobre a Zona Costeira; Plano de Gestão Integrada da Orla (PGI); PEGC; PMGC; RQA-ZC; Sistema de Avaliação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro; SIGERCO; SMAZC; e ZEEC (Pará, 2020).

A área de abrangência geográfica do PEGC/PA (Figura 3), definiu a zona costeira paraense em 5 setores composta 47 municípios:

I - Setor 1 – Marajó Ocidental: Afuá, Breves, Anajás, Chaves, São Sebastião da Boa Vista, Curralinho, Melgaço, Portel, Bagre, Oeiras do Pará e Gurupá;

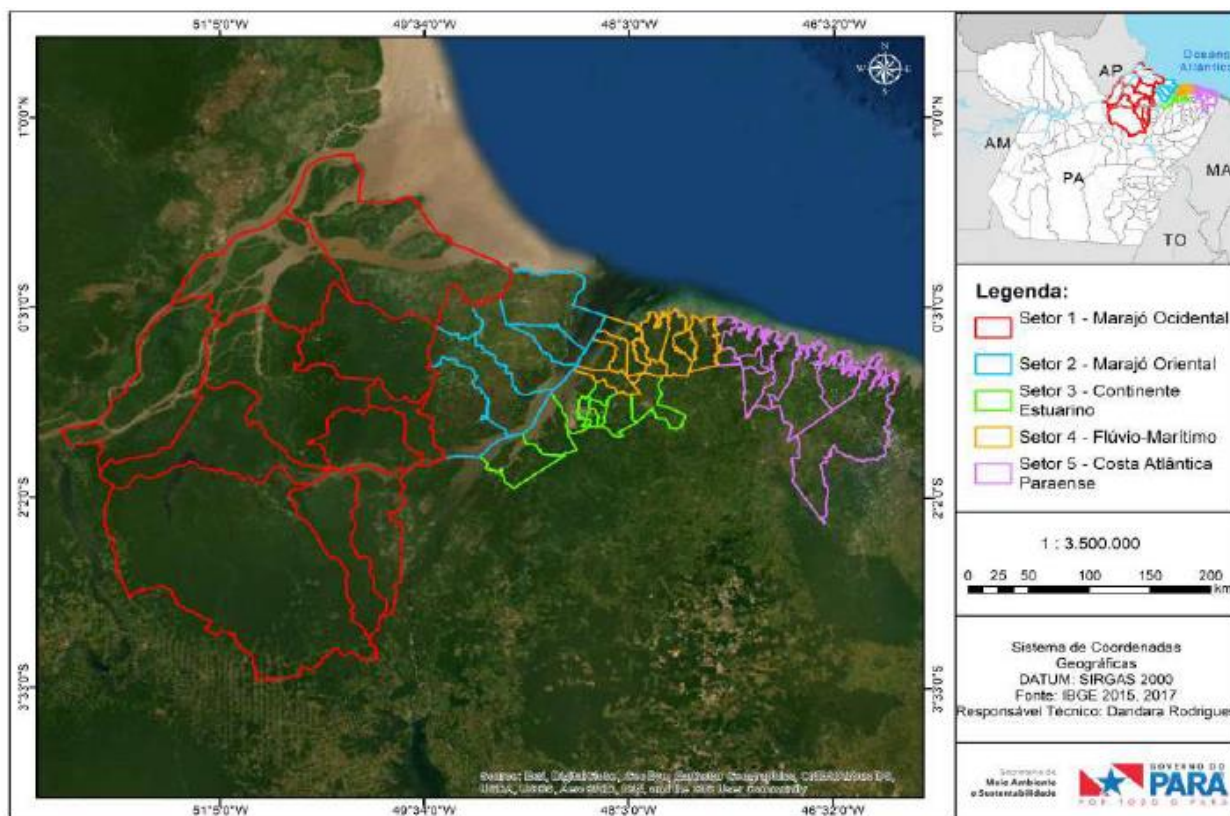
II - Setor 2 – Marajó Oriental: Santa Cruz do Arari, Soure, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Ponta de Pedras e Muaná;

III - Setor 3 – Continental Estuarino, considerando a Região Metropolitana de Belém: Abaetetuba, Barcarena, Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará, Inhangapi e Castanhal;

IV - Setor 4 – Flúvio-Marítimo: Colares, Vigia, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, Curuçá, Terra Alta, Marapanim, Magalhães Barata e Maracanã; e

V - Setor 5 – Costa Atlântica Paraense: Santarém Novo, Salinópolis, São João de Pirabas, Primavera, Quatipuru, Capanema, Tracuateua, Bragança, Augusto Corrêa e Viséu (Pará, 2020).

Figura 3- Setorização da zona costeira Paraense.



Fonte: Semas (2020).

5.4 Índice de sustentabilidade hídrica

Os índices de sustentabilidade podem ser definidos como instrumentos que auxiliam na medição da sustentabilidade através de uma abordagem sistêmica com intuito principal de tornar dados em informações (Maynard; Cruz; Gomes, 2017). Dessa forma, contribui para o gerenciamento de situações que apoiam a tomada de decisão mais eficiente durante o processo de gestão, além da transmissão de informações de forma objetiva, clara e confiável para a sociedade (Maynard; Cruz; Gomes, 2017).

A estruturação de indicadores de sustentabilidade hídrica tem sua base nos princípios de controle da oferta pelo gerenciamento e de monitoramento da disponibilidade de água, esta premissa é associada à percepção de consumo sustentável e de controle da escassez e poluição das águas (FAO, 2017; Rocha; Lima, 2020).

Dessa forma, foi criado diversos índices objetivando o auxílio da sustentabilidade dos recursos hídricos, como por exemplo os índices *Water Poverty Index* (WPI) *Canadian Water Sustainability Index* (CWSI), *West Java Water Sustainability Index* (WJWSI) e o Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH) ou o *Watershed Sustainability Index* (WSI) elaborado por Chaves e Alipaz (2007), sendo este último o mais utilizado e completo para avaliar a sustentabilidade hídrica (Silva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021; Branchi, 2022). Com intuito de compreender esses índices, o modelo Pressão-Estado-Resposta é um dos mais difundidos, sendo este elaborado pelo Instituto Oficial de Estatística Canadense em 1979 através do Sistema *Stress-Response Environmental Statistical System* (S-RESS) (Branchi, 2022).

Com o advento desses modelos, o Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) inspirou as Organizações a adotarem este modelo, sendo este desenvolvido pela Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) no ano de 1995. Outro modelo bastante utilizado foi o modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) pela European Environment Agency (EEA) em 1999, e posteriormente o Pressão-Estado-Resposta (PER), desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em 2003, sendo este último o mais difundido e robusto com uma abordagem sistêmica (Branchi, 2022).

Sendo assim, os modelos Pressão-Estado-Resposta sintetizam as relações causal entre as ações antrópicas e os recursos naturais, orientando na escolha de indicadores de Pressão (aqueles que denotam a influência do homem no meio ambiente). Em relação as atividades humanas, estas alteram qualitativamente e quantitativamente os recursos naturais, sendo estes medidos por indicadores de Estado, e provocam consequências que

visam limitar os resultados negativos das ações humanas, esta última sintetizada pelos indicadores de Resposta (Branchi, 2022).

Outro modelo adotado e utilizado de forma integrada ao PER e ao WSI é o *Hydrology for the Environment, Life and Policy* (HELP) desenvolvido pela United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), através do Programa Hidrológico Internacional em 2001, que teve intuito de criar uma nova abordagem integrada de bacias hidrográficas através de questões chaves focadas em qualidade da água, mudanças climáticas, conflitos de uso da água, segurança alimentar, saúde humana e meio ambiente. O HELP permite identificar e mapear indicadores ligados a temática de aspectos hidrológicos (H), ambientais (*environment* – E), sociais (*life* – L) e políticos (P). Portanto, trata-se de modelo que aborda uma visão sistêmica e multidimensional da sustentabilidade (Unesco, 2001; Chavez; Alipaz, 2007; Branchi, 2022).

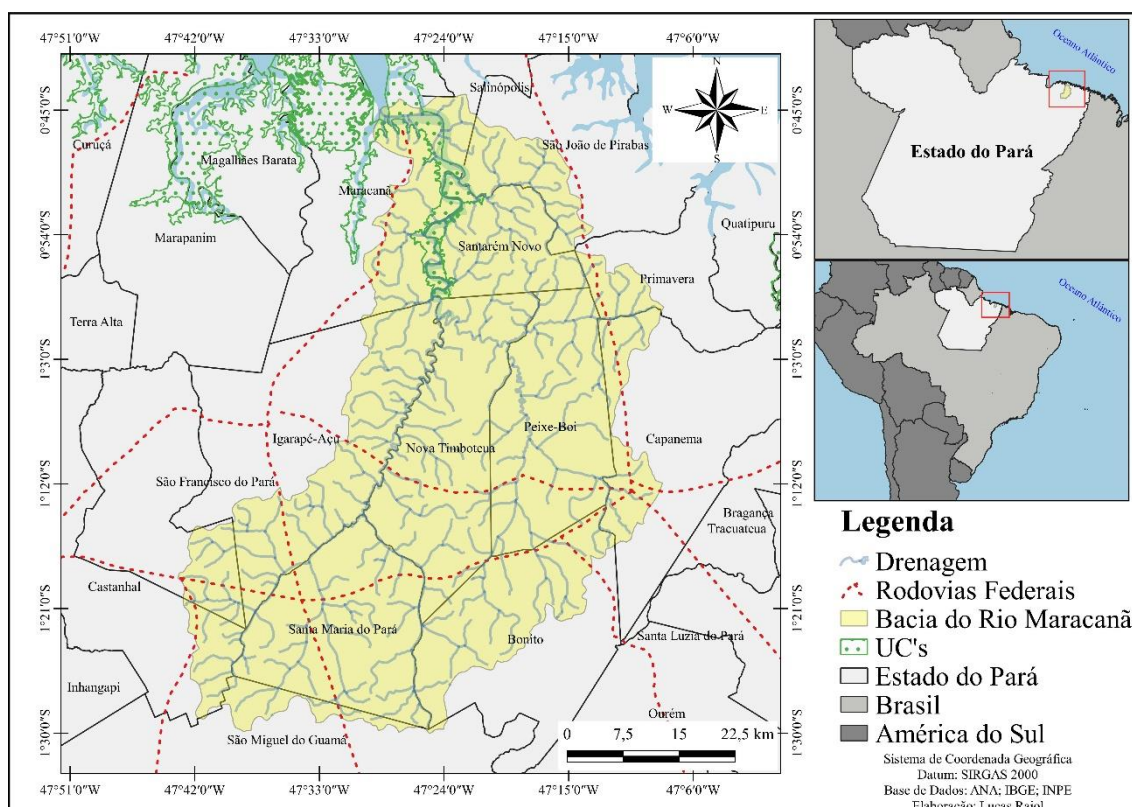
Diversos trabalhos científicos utilizaram essas abordagens e modelos integrados para as bacias hidrográficas, sendo um dos mais importante realizados por Chavez e Alipaz (2007) na bacia hidrográfica do Rio São Francisco Verdadeiro, Unesco (2008) na bacia do canal do Panamá, e posteriormente Catano *et al.* (2009) na bacia do rio Reventazón, Costa Rica. Recentemente pesquisas utilizando a aplicação do WSI de forma integrada ao HELP e na definição de parâmetros utilizando o PER foram aplicadas para o Brasil, como os estudos de Maynard, Cruz e Gomes (2017), Costa e Silva *et al.* (2020) e Branchi (2022), e com destaque para os trabalhos realizados para a região Amazônica por Ferreira, Lima e Côrrea (2020), Rocha e Lima (2020) e Silva *et al.* (2021) para as bacias dos rios Moju, rio Guamá e rio Marapanim, respectivamente.

6 METODOLOGIA

6.1 Área de Estudo

A BHRM (Figura 4) está localizada na mesorregião do nordeste do estado do Pará, zona costeira da Amazônia, possuindo uma área total de 3093,26 km². De acordo com a PERH/PA (Lei 6.381/2001) insere-se na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (Resolução do CERH n. 04/2008), a qual a bacia abrange 14 municípios sendo: Maracanã, Igarapé-Açu, Santarém-Novo, Nova Timboteua, São Francisco do Pará, Castanhal, Santa Maria do Pará, São Miguel do Guamá, Bonito, Capanema, Peixe-Boi, Primavera, São João de Pirabas e Salinópolis. As suas principais nascentes são nos municípios de São Miguel do Guamá e Santa Maria do Pará, e sua foz na baía do município de Maracanã. No baixo curso da bacia Maracanã, localiza-se a Reserva Extrativista (RESEX) Maracanã, com cerca 20,38% de seu território, e a RESEX Chocoaré - Mato Grosso com 60,34%.

Figura 4- Localização da BHRM, nordeste Paraense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

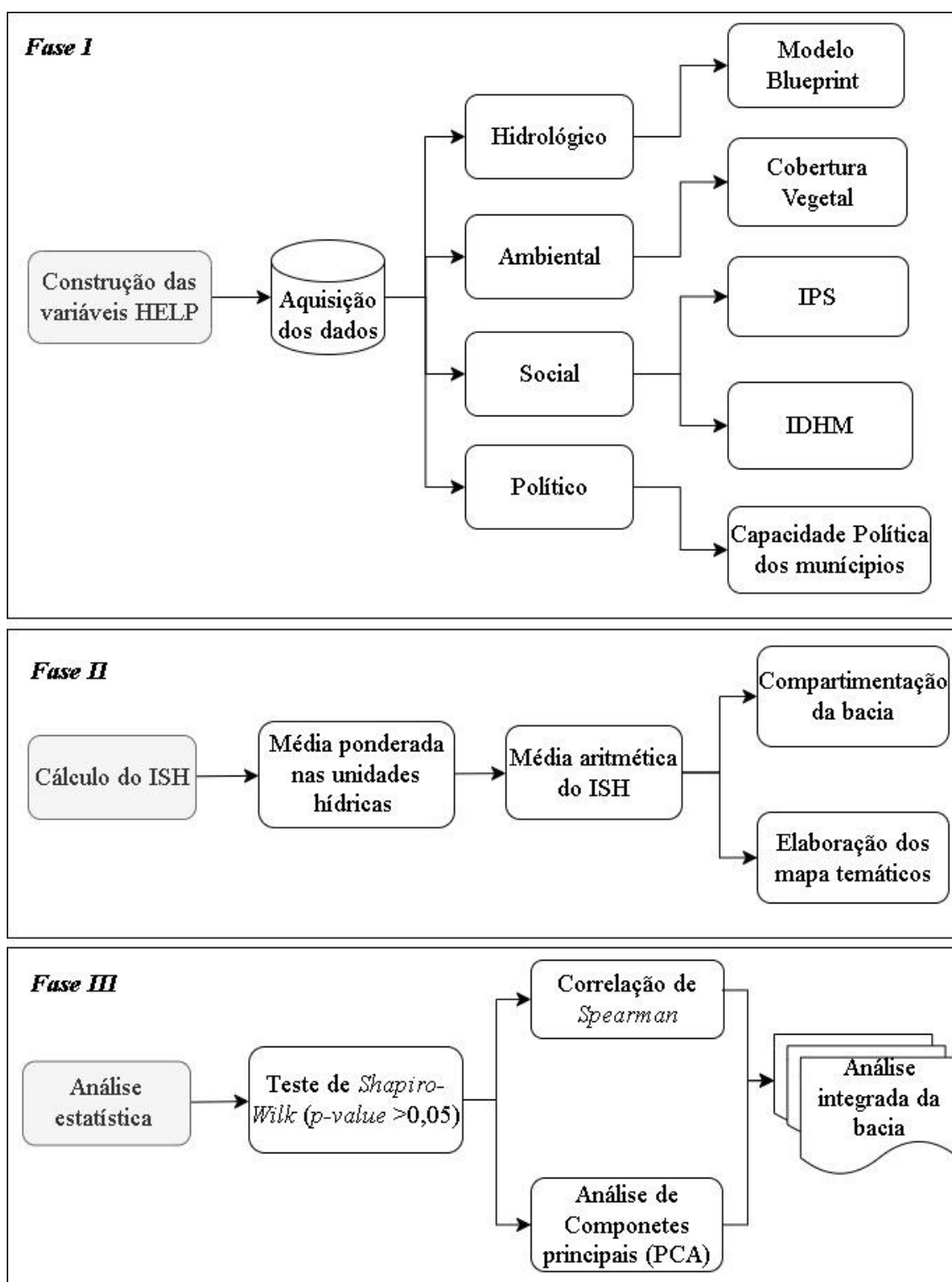
A bacia é de característica fluvio-marinha e possui o clima na categoria de megatérmico úmido, do tipo *Am*, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia de 25 °C a 27 °C e a precipitação média anual

varia de 2500 mm a 2800 mm, com alta intensidade entre os meses de fevereiro a abril (trimestre chuvoso), e estiagem de setembro a novembro (período seco) (Alvares *et al.*, 2013).

6.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos propostos foi adotada os seguintes procedimentos metodológicos (Figura 5) de sistematização, processamento e análise de dados através do software QGIS 3.34.

Figura 5- Fluxograma metodológico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O índice ISH foi utilizado e adaptado para a BHRM através da metodologia proposta por Chavez e Alipaz (2007). O ISH é um indicador usado para avaliar o estado atual de sustentabilidade uma bacia, através da integração de fatores para auxiliar na gestão da bacia.

Para este estudo os seguintes indicadores foram utilizados: *Hidrológico (Hydrologic Indicator-H)*, *Ambiental (Environmental Indicator-E)*, *Social (Life Indicator-L)* e *Político (Political Indicator-P)*, as quais as variáveis correspondem de 0 a 1, sendo 0 significando pobres condições e 1 ótimas condições, e n_i representa as variáveis consideradas (Chavez; Alipaz, 2007; Ferreira; Lima; Côrrea, 2020).

$$ISH = \frac{\sum Wi}{\sum ni} \quad \text{Eq. 1}$$

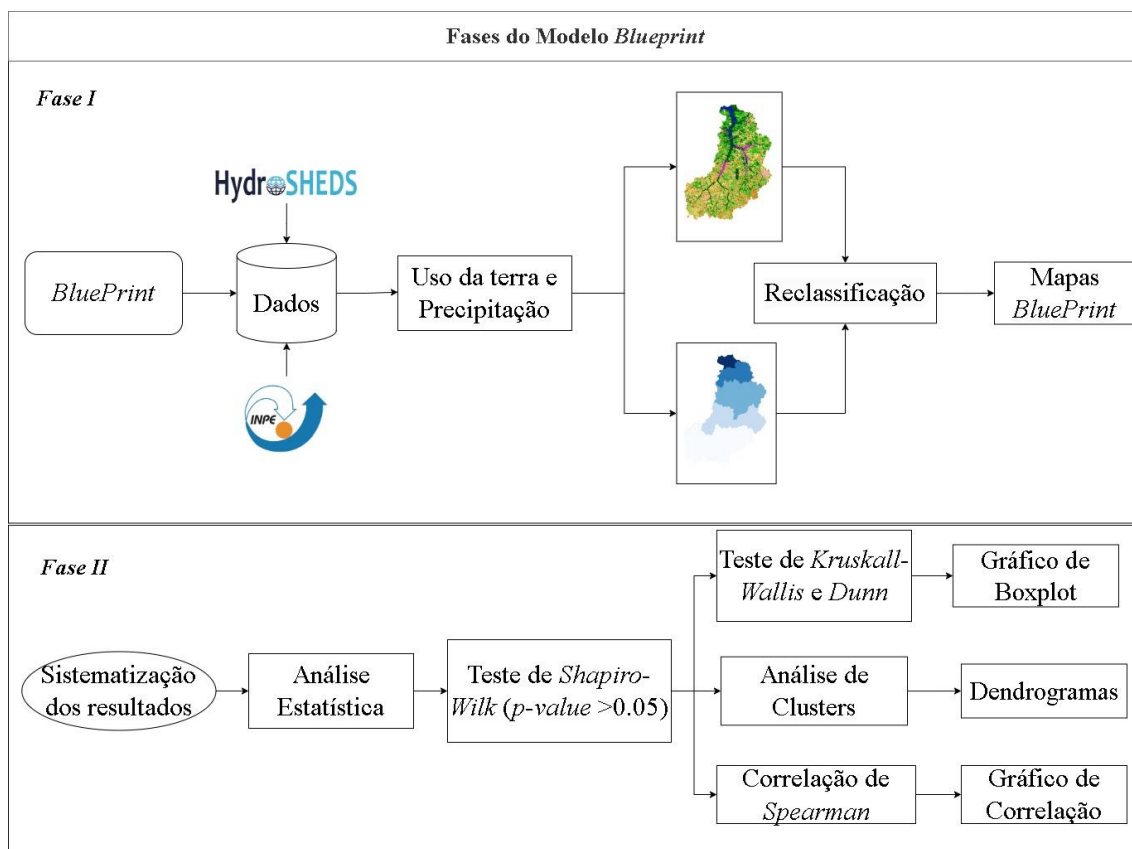
Onde ISH é o índice de Sustentabilidade Hídrica; W_i são os indicadores da dimensão HELP; e n_i é o número dos indicadores.

Os indicadores foram adotados para condição estado da matriz PER conforme adaptado pela metodologia de Chavez e Alipaz (2007) e utilizado por Rocha e Lima (2020) na bacia do Rio Guamá. A presente pesquisa utilizou a divisão de unidades hídricas, ou seja, aquelas menores bacias dentro de uma macrobacia, para aplicação do ISH, totalizando 23 unidades hídricas

6.2.1 Indicador Hidrológico

O Indicador Hidrológico (H) utilizado foi baseado no modelo *Blueprint* desenvolvido para a bacia do rio Tapajós por Petry *et al.* (2019). Esta ferramenta é apoiada na definição de cenários e indicadores sobre o estado de conservação dos recursos naturais, baseando-se em informações biológicas, hidrológicas, uso da terra e geomorfológicas, através de uma perspectiva dos meios aquáticos e terrestres (Figura 6).

Figura 6- Fluxograma metodológico do modelo Blueprint.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A aplicação do modelo *Blueprint* para a BHRM foi baseada na utilização na rede de drenagem obtida pelo IBGE (2021) através das bases cartográficas contínuas na escala 1:250.000, produto da atualização das bases digitais originais do IBGE com o sistema Google Earth e o modelo digital de elevação do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Em relação a utilização da base cartográfica das bacias hidrográficas, foram utilizadas as Ottocodificadas obtidas pela Agência Nacional de Águas (ANA) (2017) nível 4 para a BHRM.

Para o enquadramento das unidades de planejamento das unidades ecológicas (UE), foram utilizadas a do HydroAtlas nível 12, na qual foram geradas 23 UE, sendo estas designadas também como unidades hídras¹ (Linke *et al.*, 2019). Estas são importantes em uma hierarquia espacialmente alinhada, que correspondem aos critérios de representatividade, singularidade, funcionalidade e resiliência, correlacionando tais

¹ Disponível no Google Earth Engine: ee.FeatureCollection("WWF/HydroATLAS/v1/Basins/level12").

aspectos para as bacias de diferentes tamanhos às áreas de drenagem das cabeceiras, de pequenos e grandes afluentes, e dos rios principais (Petry *et al.*, 2019).

Posteriormente foram utilizados os dados do TerraClass de uso e cobertura da terra do ano de 2020 (INPE, 2023), na qual foram geradas 12 classes para a área de estudo (Tabela 1). O intuito do uso de dados de cobertura da terra, foi de integrar com as UE, atribuindo a condição relativa e da integridade ecológica dos sistemas ecológicos e utilizando atributos espaciais das atividades desenvolvidas ao longo da bacia, que afetam o fluxo, a integridade e a conectividade dos corpos hídricos (Petry *et al.*, 2019).

Tabela 1- Classes do TerraClass e suas definições.

Classes	Definição
Vegetação Natural Florestal Primária	Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Vegetação Natural Florestal Secundária	Formação vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas, que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Pastagem Arbustiva/Arbórea	Pastagem com predomínio de vegetação lenhosa, composta por espécies arbustivas/arbóreas, além das espécies herbáceas cultivadas.
Pastagem Herbácea	Pastagens com predomínio de vegetação forrageira herbácea, composta por espécies cultivadas.
Cultura Agrícola Perene	Culturas agrícolas permanentes, apresentando diferentes estádios de maturidade e cobertura vegetal, como plantações café, citros, seringueira, entre outras.
Cultura Agrícola Temporária de 1 ciclo	Cultura agrícola que apresentam um ciclo de produção no ano-safra de referência do mapeamento, ou seja, apenas uma cultura é plantada em uma parcela de terra.
Cultura Agrícola Temporária de mais de 1 ciclo	Cultura agrícola que apresenta mais de um ciclo de produção no ano-safra de referência do mapeamento, ou seja, podendo ser plantada várias culturas na mesma parcela de terra, podendo ocorrer também rotação cultural.
Mineração	Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solo exposto e alterações da paisagem local.
Urbanizada	Áreas urbanas ou de influência urbana, como lugarejos, vilas, cidades ou regiões metropolitanas, apresentando arruamentos e infraestruturas residencial e industrial.
Desflorestamento do ano	Áreas cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento, resultando em solo exposto na área.
Corpos d'água	Corpos d'água naturais ou artificiais, como rios, lagos, açudes e represas.
Não Floresta	Áreas contidas no limite da Amazônia legal Brasileira, cuja cobertura vegetal não é florestal, como arbustos, apicuns, salgados e campos naturais.

Fonte: Adaptado de TerraClass (2024).

Os dados do TerraClass foram reclassificados, unindo as classes: Floresta Primária, Floresta Secundária e Não Floresta, resultando na classe Cobertura Vegetal Natural. As classes: Cultura Agrícola Perene, Cultura Agrícola Temporária de 1 ciclo e mais de 1 ciclo, Pastagem Arbustiva/Arbórea e Pastagem Herbácea, foram agrupadas para formar a classe Agropecuária. Por último, as classes: Urbanizada, Mineração e Desflorestamento do ano foram reclassificadas para formar a classe Solo Exposto.

A utilização do HydroAtlas nível 12 também foi utilizada como base de dados de precipitação, sendo estes derivados do *Worldclim* v1.4 no período de 1950-2000 com uma resolução de 30 arc-segundo (Linke *et al.*, 2019). Desse modo, foi utilizado como parâmetro e integração no modelo Blueprint, considerando as médias anuais e médias trimestrais do período chuvoso e seco da bacia.

Após isso, avaliou-se a presença/ausência da vegetação, solo exposto, e agropecuária, sendo estes através da reclassificação do uso e cobertura da terra, e posteriormente foi adotado os critérios (Tabela 2), bem como a média mensal da precipitação nas UE, afim de identificar aqueles que estão na melhor condição relativa de conservação no período de média anual, trimestre chuvoso e seco.

Tabela 2- Critérios adotados para a seleção das unidades ecológicas (UE).

Filtros/Pesos	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
	% de cobertura com vegetação natural na UE	Solo exposto na UE	% uso da terra para a agropecuária na UE	Média precipitação anual (mm)	Média precipitação mensal (mm)
1° opção	>80%	Nenhum	Nenhum	>2721	>400
2° opção	80 a 60%	Presente	Nenhum	2621-2720	301-400
3° opção	60 a 40%		Nenhum	2521-2620	201-300
4° opção	60 a 40%		Entre 10% e 20%	2411-2520	101-200
5° opção	40 a 20%		Entre 20% e 40%	2300-2410	0-100
6° opção	< 20%		Maior que 40 %		

Fonte: Adaptado de Petry *et al.* (2019).

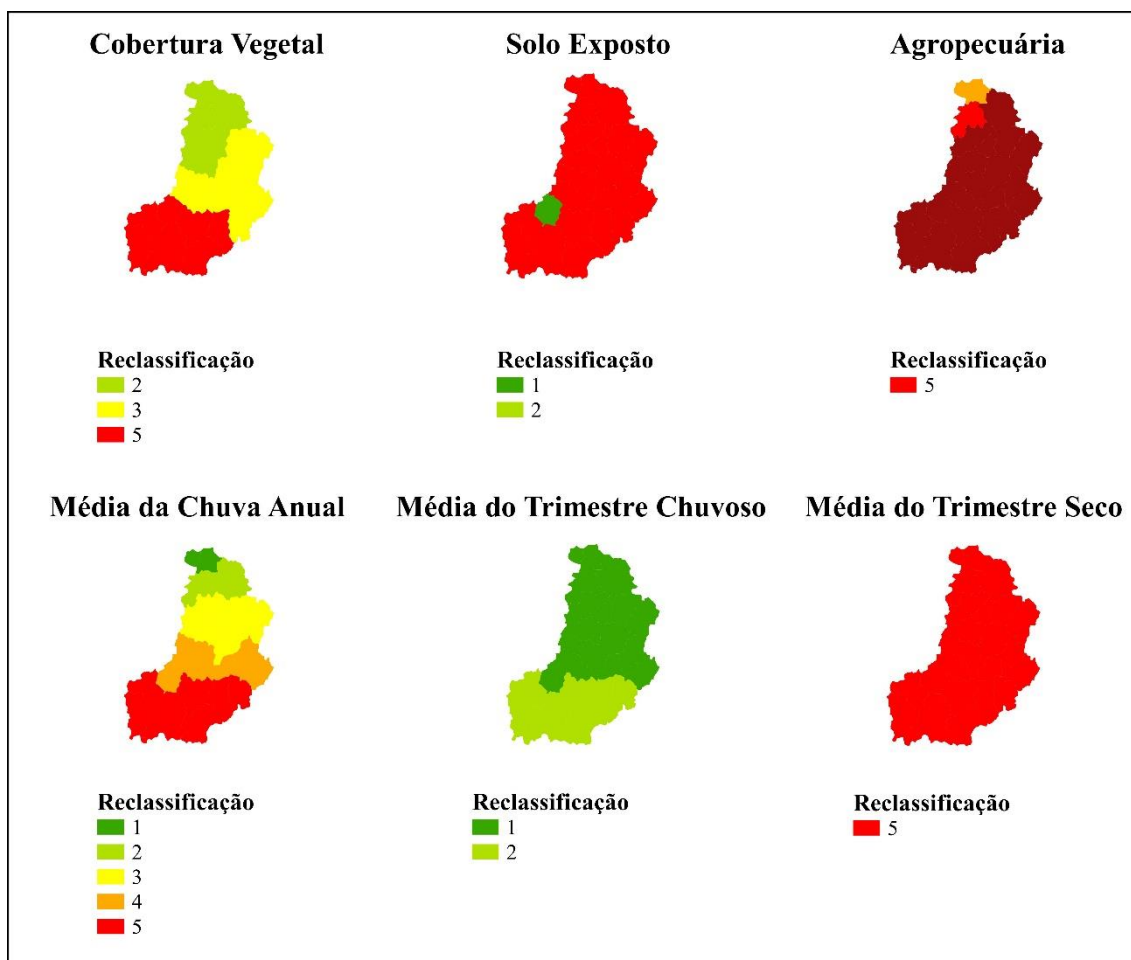
Os critérios incluíram a seleção de unidades de sistemas ecológicos utilizando os filtros definidos, dessa forma, os critérios não atendidos, estes foram comparado a alternativas que atenda o próximo critério. Em caso de UE com mesma condição relativa/integridade ecológica se dará prioridade para a seleção dentro de áreas protegidas, considerando também evitar unidades isoladas e garantir a conectividade entre as UE (Petry *et al.*, 2019). Sendo assim, para avaliar as melhores condições dos UE nas unidades hídricas correspondentes foi considerado o nível de maior porcentagem de integridade ecológica ou ocorrências únicas, pois possuem maior conservação da integridade ambiental.

Posteriormente, foi realizado o cálculo do *Blueprint* (BP) (Equação 2) considerando os critérios (reclassificação) do uso e cobertura da terra com o critério da precipitação da média anual, do trimestre chuvoso e menos chuvoso (Figura 7), com intuito de analisar o comportamento das áreas de integridade ambiental e degradação em épocas de distribuição anual e nos períodos chuvoso e seco durante o ano.

$$BP = \sum_{i=1}^X X_1 \cdot X_i \quad \text{Eq. 2}$$

Onde BP corresponde ao *Blueprint*; e X_i são as variáveis utilizadas na multiplicação.

Figura 7- Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra e dos períodos de precipitação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da Equação 1, foi a classificação final do Blueprint (Tabela 3), baseada no método de classificação *Natural Breaks* (Jenks), definido em 5 intervalos, a qual foi realizada para os três períodos, sendo o Blueprint Anual (BPA), Blueprint Chuvoso (BPC) e Blueprint Seco (BPS), resultando na escala de integridade ambiental, integridade intermediária, restauração e conectividade, degradação e antropização intensa.

Tabela 3- Classes do Blueprint e seus respectivos valores e definição.

Valores	Cor da Classe	Classes	Definição
0- 48		Integridade Ambiental	Aqueles que apresentam maior integridade dos seus sistemas ecológicos e serviços ambientais, e relevância para a recarga hídrica.
49-120		Integridade Intermediária	Aqueles que apresentam integridade ambiental, mas com um grau maior de intervenção humana que a anterior, e menor potencial de recarga hídrica.
121-180		Restauração e Conectividade	Classes relacionadas com a intervenção humana, e que necessitam da manutenção ecológica e conectividade hídrica, evitando a fragmentação, possuindo comprometimento da recarga hídrica.
181-300		Degradação	Classe com maior grau de intervenção humana e fragmentação, afetando com maior intensidade os processos de recarga hídrica.
>300		Antropização intensa	Maior nível de antropização, apresentando muito pouco ou sem presença de cobertura florestal, resultando em maior escoamento, erosão e muito pouca recarga hídrica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística dos resultados foi realizada em ambiente R, através primeiro do Teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade dos dados (p -value < 0.05), o que constatou a não normalidade dos resultados (Tabela 4). Portanto, foi realizado depois o teste de *Kruskal-Wallis*, por se tratar de um teste não paramétrico, para avaliar se há diferença significativa de média de pelo menos um *Blueprint* (Rosier *et al.*, 2023). Ademais, foi realizado o teste pós-hoc de Dunn com correção de Bonferroni, através do pacote FSA, afim de realizar comparações múltiplas para verificar diferenças existentes em cada *Blueprint* (García-Galar; Lamelas; Domingo, 2023).

Tabela 4- p-valores do teste de Shapiro-Wilk das variáveis analisadas do modelo Blueprint

Variáveis	p -Valor
Cobertura Vegetal	<0,001
Solo Exposto	<0,001
Agropecuária	<0,001
Média da precipitação anual	0,009
Média da precipitação do trimestre do chuvoso	<0,001
Média da precipitação do trimestre seco	Sem variação (valores idênticos)
Blueprint Anual	0,004
Blueprint Chuvoso	<0,001
Blueprint Seco	0,002

Fonte: Autor.

Foi realizada uma análise hierárquica de clusters, através do método de Ward. O método de Ward funciona na forma de um agrupamento de aglomerativo, que se baseia

em um critério de clássico de soma de quadrados, produzindo grupos que minimizam a dispersão dentro de grupos em cada fusão binária, além também de procurar clusters no espaço euclidiano multivariado (Murtagh; Legendre, 2014). Esta análise hierárquica de clusters foi realizada no software Minitab 17, utilizando a distância quadrática euclidiana como medida de ligação entre o *Blueprint* Anual com o período chuvoso e seco (Almeida *et al.*, 2023).

Ademais, foi analisada a correlação de Spearman através do Pacote *ggplot2*, utilizando as classes de Cobertura Florestal, Agropecuária e Solo Exposto com os *Blueprints* e seus respectivos períodos de precipitação. O coeficiente de correlação de Spearman é utilizado para medir associações monotômicas não lineares, variando de -1 a 1, com valores próximos de 1 indicando forte correlação positiva, sendo também utilizada para entender relações entre variáveis ao longo de diferentes períodos analisados (Heuvel; Zhan, 2022; Queiroz *et al.*, 2020). Os scripts dos cálculos e dos gráficos realizados no software R estão no (Apêndice A).

6.2.2 Indicador Ambiental

O indicador ambiental (E) refere-se à classificação da cobertura vegetal, a qual foi realizada pelos dados do TerraClass de uso e cobertura da terra do ano de 2020 (INPE, 2023). Considerando a cobertura vegetal como sendo a junção das classes Floresta Primária, Floresta Secundária e Não Floresta.

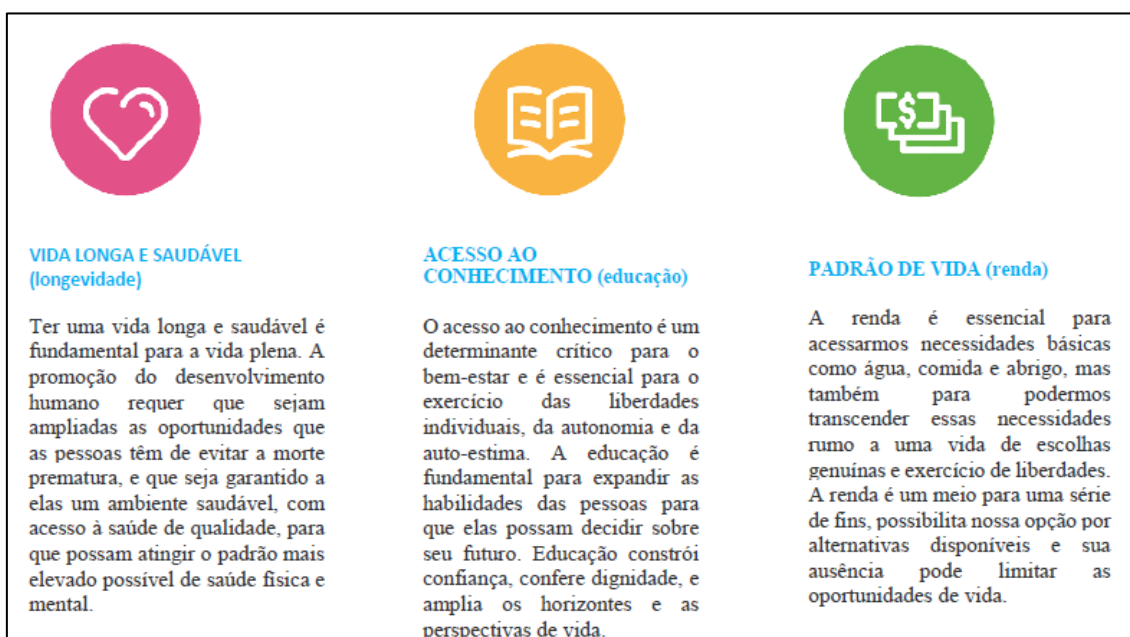
Também foi realizada a quantificação dessas classes de dados do TerraClass sobre a área de estudo, bem como da classe reclassificada como cobertura vegetal em cada unidade hídrica, sendo a quantificação em hectare (ha) e porcentagem (%), ambas realizadas no software QGIS 3.16.8, considerando a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23 sul.

6.2.3 Indicador Social

Para o indicador social (L) foram consideradas as informações referentes aos aspectos socioeconômicos, políticos e institucionais de cada município que compõe as unidades hídricas, sendo o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) que é baseado no censo de 2010 e o Índice de Progresso Social (IPS) do ano de 2023, tais indicadores foram obtidos do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, e do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), respectivamente (Imazon, 2023; Pnud, 2022).

O IDHM é composto por três indicadores (Figura 8) que representam as oportunidades de uma sociedade de ter vidas longas, de ter acesso a conhecimento, e de ter comando sobre os recursos de forma a garantir um padrão de vida digno, variando de 0 a 1, sendo valores variando de 0 a 0,49 considerado muito baixo; 0,50 a 0,59 baixo; 0,60 a 0,69 médio; 0,70 a 0,79 alto; e maior que 0,80 muito alto (Pnud, 2022). Além disso, o IDHM segue as mesmas três dimensões do IDH global: saúde, educação e renda, mas adequando a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores nacionais (Pnud, 2022).

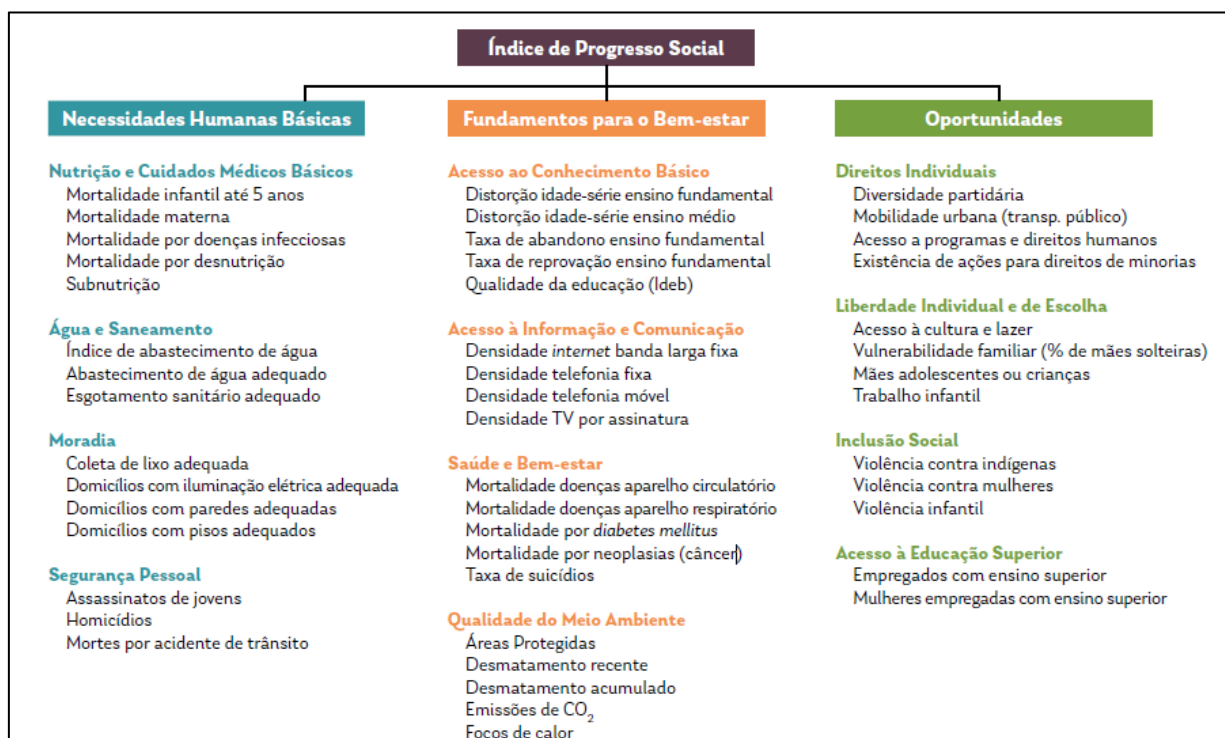
Figura 8- As três dimensões do IDHM.



Fonte: Pnud (2022).

O IPS foi desenvolvido para a Amazônia Legal, e é baseado em informações secundárias partir de dados públicos provenientes de órgãos oficiais e de centros de pesquisa. O IPS é composto por indicadores exclusivamente sociais e ambientais (Figura 9), é agregado em 3 dimensões (Necessidades Humanas Básicas, Fundamentos para o Bem-estar e Oportunidades) e 12 componentes (Nutrição e Cuidados Médicos Básicos, Água e Saneamento, Moradia, Segurança Pessoal, Acesso ao Conhecimento Básico, Acesso à Informação e Comunicação, Saúde e Bem-estar, Qualidade do Meio Ambiente, Direitos Individuais, Liberdades Individuais e de Escolha, Inclusão Social e Acesso à Educação Superior)., tendo uma variação de zero (pior) a 100 (melhor) (Santos *et al.*, 2023).

Figura 9- Composição das dimensões e indicadores do IPS.



Fonte: Santos *et al.* (2023).

Dessa forma a partir do processamento das informações para cada município que compõe as unidades hídras, foi realizada a média ponderada dos indicadores sociais de cada município (Equação 3), considerando os indicadores do IDHM e do IPS de cada município em relação as suas respectivas unidades hídras para posteriormente realizar o cálculo do ISH conforme utilizado por Rocha e Lima (2020). Posteriormente, após a ponderação dos valores de IDHM e IPS para cada unidade hídrica, foi realizada uma média aritmética entre esses indicadores para compor apenas um valor que represente o indicador social no cálculo do ISH.

$$ISU = \frac{\sum_{i=1}^n A_i ISM}{A} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: ISM = indicador social por município; S_i = variáveis analisadas; n = número de variáveis; ISU = indicador social na unidade hídrica; A_i = área do município dentro da unidade hídrica (km²); A = área total da unidade hídrica (km²).

Nas unidades hídras que estão dentro das sedes municipais, foram consideradas os indicadores integrais de IDHM e IPS dos municípios, pois estes são mais representativos devido a sede municipal aglomerar a maioria dos indicadores desses

índices, bem como possuir a maior parte da população da sede municipal referente.

6.2.4 Indicador Político

Para o indicador político (P) também foi utilizado a média aritmética dos parâmetros de indicadores políticos municipais, estes são referentes a capacidade de gestão dos municípios em relação as questões ambientais, estrutura institucional, política e operacional, e gestão territorial (Tabela 5).

Tabela 5- Parâmetros do indicador Político dos municípios que compõe a bacia.

Parâmetros	Classificação	Peso
Secretaria de meio ambiente	Individual	1
	Associada	0,5
	Ausente	0
Licenciamento ambiental	Realiza	1
	Não realiza	0
Possui conselho de meio ambiente	Existente	1
	Inexistente	0
Fundo municipal de meio ambiente	Existente	1
	Inexistente	0
Participação no Programa Município Verdes	Sim	1
	Não	0
Plano diretor municipal	Existente	1
	Inexistente	0
Plano de saneamento básico	Existente	1
	Inexistente	0
Política municipal de saneamento	Existente	1
	Inexistente	0
Acesso as informações sobre a gestão ambiental no website oficial do município	Existente	1
	Parcialmente	0,5
	Inexistente	0
Grau de cobertura de Cadastro Ambiental Rural (CAR) no município	≤ 10%	0
	10% < G ≤ 20%	0,25
	20% < G ≤ 30%	0,5
	30% < G ≤ 50%	0,75
	> 50%	1
Coordenadoria municipal de proteção e defesa civil	Existente	1
	Inexistente	0
¹ Plano municipal de Gerenciamento Costeiro	Existente	1
	Inexistente	0
¹ Legislação municipal voltada ao gerenciamento costeiro	Existente	1
	Inexistente	0
² Termo de Adesão à Gestão das Praias (TAGP) visando o Projeto Orla	Sim	1
	Submetido	0,5
	Não/Indeferido	0
¹ Existem no município trabalhos/estudos ou projetos desenvolvidos para o gerenciamento costeiro	Existente	1
	Inexistente	0

¹Parâmetros utilizados apenas para municípios costeiros sendo: Maracanã, Salinópolis, São João de Pirabas, Santarém-Novo e Primavera.

² Parâmetros utilizados apenas para municípios com praias marítimas sendo: Maracanã, São João de Pirabas e Salinópolis.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, também foi realizada uma média ponderada semelhante realizado ao indicador social, utilizando os indicadores políticos municipais para cada unidade hídrica correspondente, bem como a utilização integral dos resultados do Indicador P para as unidades hídricas que estão dentro das sedes municipais.

As informações foram obtidas dos sites oficiais das prefeituras e órgãos públicos municipais, do Estado do Pará e do Governo Federal. Os parâmetros sobre gerenciamento costeiro foram incorporados para avaliar a capacidade de resposta relacionados ao tema dos municípios defrontantes com o mar na BHRM. Portanto, essas informações só foram contabilizadas para o indicador *P* os municípios costeiros presentes nas unidades hídricas. Dessa forma, foram utilizados 15 parâmetros de gestão, a qual foi atribuído pesos de 0 a 1, facilitando a comparação das condições analisadas dos municípios, a qual os valores próximos de 0 significa baixas condições, e 1 melhores condições de gestão.

6.3 Cálculo do Índice de Sustentabilidade Hídrica da Bacia

A realização do cálculo do ISH foi composta pela média aritmética da dimensão HELP, através das suas respectivas pontuações (Tabela 6). Os indicadores Estado foram divididos em cinco pontuações de escala (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1) com intuito de simplificação da estimativa, sendo que 0 representa as piores condições e 1 para as melhores condições (Rocha; Lima, 2020). Posteriormente o resultado do WSI foi classificado em baixo, médio e alto, respectivamente: $WSI < 0,5$; $0,5 \leq WSI < 0,8$ e $WSI \geq 0,8$, conforme Chavez e Alipaz (2007). Interpreta-se que, quanto maior o valor do índice, melhor estará a sustentabilidade na bacia hidrográfica avaliada (Maynard; Cruz; Gomes, 2017).

Tabela 6- Variáveis que compõe o WSI e seus respectivos pesos.

Indicador	Parâmetros da condição estado	Níveis definidos	Peso
Hidrológico	BluePrint Anual	BPA>300	0,00
		181<BPA≤300	0,25
		121<BPA≤181	0,50
		48<BPA≤121	0,75
		0<BPA≤48	1,00
Ambiental	% Área ocupada por cobertura florestal nas unidades hídricas	≤5%	0,00
		5%<A≤15%	0,25
		15<A≤30%	0,50
		30%<A≤45%	0,75
		A>45%	1,00
Sociais	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	≤0,5	0,00
		0,5<IDHM≤0,6	0,25
		0,6<IDHM≤0,75	0,50
		0,75<IDHM≤0,9	0,75
		IDHM>0,9	1,00
	Índice de Progresso Social (IPS)	≤50	0,00
		50<IPS≤55	0,25
		55<IPS≤58	0,50
		58<IPS≤65	0,75
		IPS>65	1,00
Políticos	Capacidade gestão institucional, política, operacional e ambiental	≤10%	0,00
		10%<P≤30%	0,25
		30%<P≤ 50%	0,50
		50%<P≤ 70%	0,75
		P>70%	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Propostas para o Gerenciamento Costeiro Integrado

A partir dos resultados foi possível analisar o estado de sustentabilidade hídrica das unidades hídricas da BHRM, identificando suas fragilidades e potencialidades afim de propor formas eficientes de implementação dos instrumentos existentes para o gerenciamento integrado da bacia. Pois, existe uma lacuna na gestão integrada no Brasil, onde as políticas de gerenciamento costeiro e de recursos hídricos são separadas institucionalmente, pelo qual os recursos hídricos, de competência do SINGREH acaba quando a influência oceânica começa, e a partir daí começa a ingerência do Gerenciamento Costeiro (Loitzenbauer; Mendes, 2016).

Dessa forma, a premissa da proposta da gestão integrada da bacia da BHRM teve como base o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II- Res. CIRM N° 005/1997) e a PNRH (Lei 9.433/1997), focando na definição de zona costeira definida no PNGC II, para o caso da área de estudo em questão, as áreas de Zona de Influência Costeira (ZIC) que abrange os estuários.

No âmbito estadual, a gestão integrada da bacia está inserida no contexto da Política Estadual de Recursos Hídricos do Pará (PERH/PA- Lei nº 6.381/2001) e da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA – Lei nº 9.604/2020), sendo a área de estudo dentro dos setores Flúvio-Marítimo e Costa Atlântica Paraense de acordo com a PEGC/PA.

No entanto, é necessária uma definição mais ampla e detalhada das interações dos sistemas fluviais e estuarinos das zonas costeiras com aspectos dos impactos ambientais de atividades humanas, informações econômicas, sociais e geoambientais, conforme observado e discutido por Loitzenbauer e Mendes (2016), para visar a utilização apropriada dos instrumentos e ferramentas existente para a gestão integrada da bacia.

Para isso, foi delimitada através das unidades hídricas da BHRM as unidades correspondentes aos municípios inseridos no PEGC/PA que estão dentro da ZIC, influenciados direta e indiretamente, sendo em questão as áreas dos municípios de Maracanã, Salinópolis, São João de Pirabas, Santarém-Novo, Capanema e Primavera. Dessa forma, a compartimentação foi realizada em:

- a) Baixo curso: aquelas unidades hídricas correspondentes aos municípios que fazem parte da zona costeira paraense, próximo a foz, com menores altitudes;
- b) Médio curso: aquelas unidades hídricas correspondentes que estão no centro da bacia e que possuem altitude médias;
- c) Alto curso: aquelas unidades hídricas correspondentes a parte mais ao sul da bacia, próximos às nascentes principais, com maiores altitudes.

6.5 Análise Estatística

A análise estatística dos dados foi realizada no software R, na qual primeiramente foi realizada os testes de *Shapiro-Wilk* dos resultados dos indicadores HELP e do ISH, na qual resultou na não-normalidade dos dados (Tabela 7). Posteriormente foi utilizado os pacotes Tidyverse e Ggally para fazer a matriz de correlação de Spearman, baseada em scatterplot. A correlação de Spearman é uma análise não-paramétrica para comparar classificações de valores observados de duas variáveis independentes dentro dos modelos, sendo essa correlação feito dentro dos níveis da compartimentação (agrupamento de variáveis) da bacia em baixo curso, médio curso e alto curso para cada indicador e ISH, para entender o nível de correlação entre elas (Arabameri *et al.*, 2020; Zablotski, 2022).

Tabela 7- p-valores do teste de Shapiro-Wilk da dimensão HELP e do ISH.

Variáveis	<i>p</i> -valor
Hidrológico	0,007
Ambiental	<0,001
Social	<0,001
Político	<0,001
ISH	0,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi realizada também uma Análise Componentes Principais (ACP) para entender as relações entre os níveis de compartimentação da bacia e os indicadores HELP e o ISH. O ACP é um método estatístico amplamente utilizado para ordenação e redução de dimensionalidade de conjunto de dados multivariados em muitas áreas do conhecimento (Camargo, 2022). Na análise da ACP foi considerado o critério de Broken-Stick para designar o número de eixos utilizados na ordenação, bem como para averiguar o eixo com maior explicação (Monteiro-Júnior; Juen; Hamada, 2015).

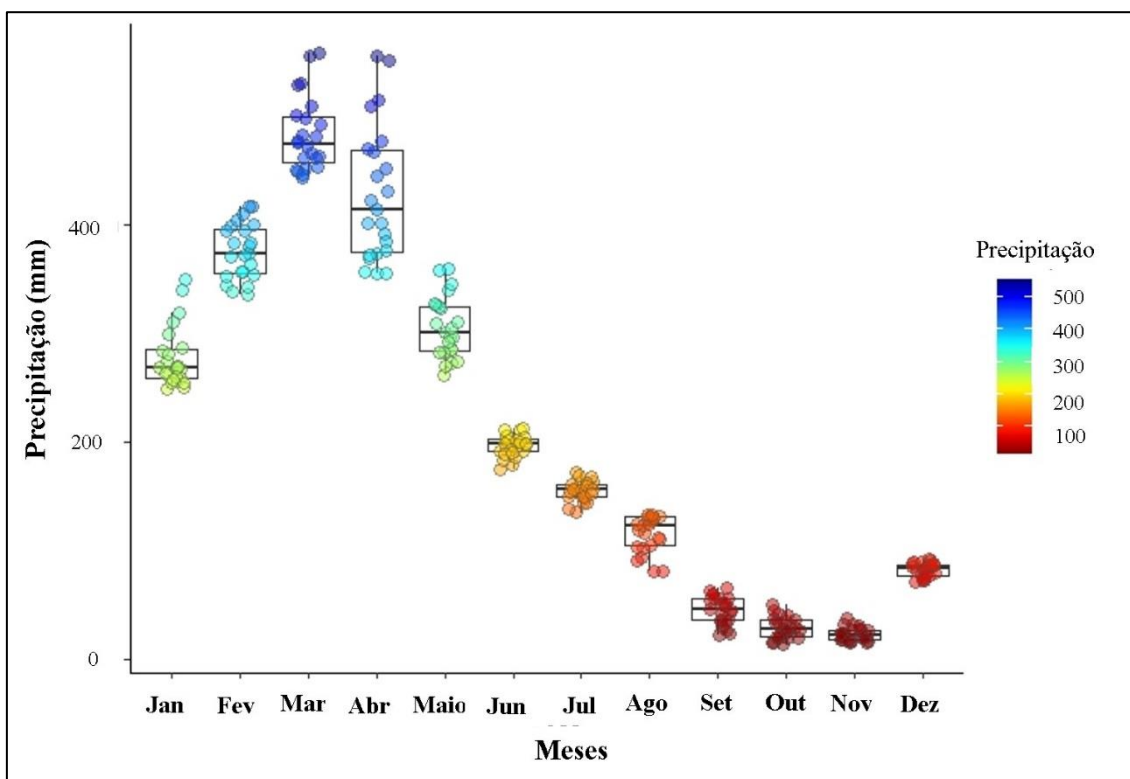
A análise da ACP contribui para averiguar com mais detalhe essas variáveis, subsidiando a priorização de áreas de compartimentação com mais e menos sustentabilidade hídrica. Dessa forma, esta análise de ACP foi baseada em pesquisas considerando variáveis em diversos níveis como os estudos de Hammam *et al.* (2022), Kumar *et al.* (2022), Velastegui-Montoya, Lima e Herrera-Matamoros (2022), e Crivelari-Costa *et al.* (2023). Os scripts utilizados em ambiente R para as análises estatísticas estão no (Apêndice A).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 MODELO BLUEPRINT APLICADO À BHRM

A precipitação na BHRM (Figura 10) apresentou uma média anual de $2.517,13 \pm 154,17$ mm, sendo os maiores valores em Fevereiro à Abril (trimestre chuvoso), com as maiores médias acumuladas em Março com $482,10 \pm 33,77$ mm, Abril com $427,80 \pm 62,07$ mm, e Fevereiro com $373,00 \pm 25,47$ mm, respectivamente. Os menores valores em Setembro à Novembro, com as menores médias acumuladas de $23,48 \pm 5,98$ mm no mês de Novembro, Outubro com $29,39 \pm 5,98$ mm, e Setembro com $45,57 \pm 12,82$ mm, respectivamente.

Figura 10- Média da precipitação mensal entre os anos de 1950 a 2000.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa tendência sobre a variação sazonal da chuva na Amazônia oriental é observada por diversas pesquisas, onde as frequências de dias secos nos meses de setembro a novembro (definido como o número de dias por ano com chuva abaixo de 1 mm/dia) aumentam significativamente ($p > 0,01$) principalmente quanto mais ao sul da Amazônia, devido ao enfraquecimento da umidade do oceano atlântico, pela Zona de

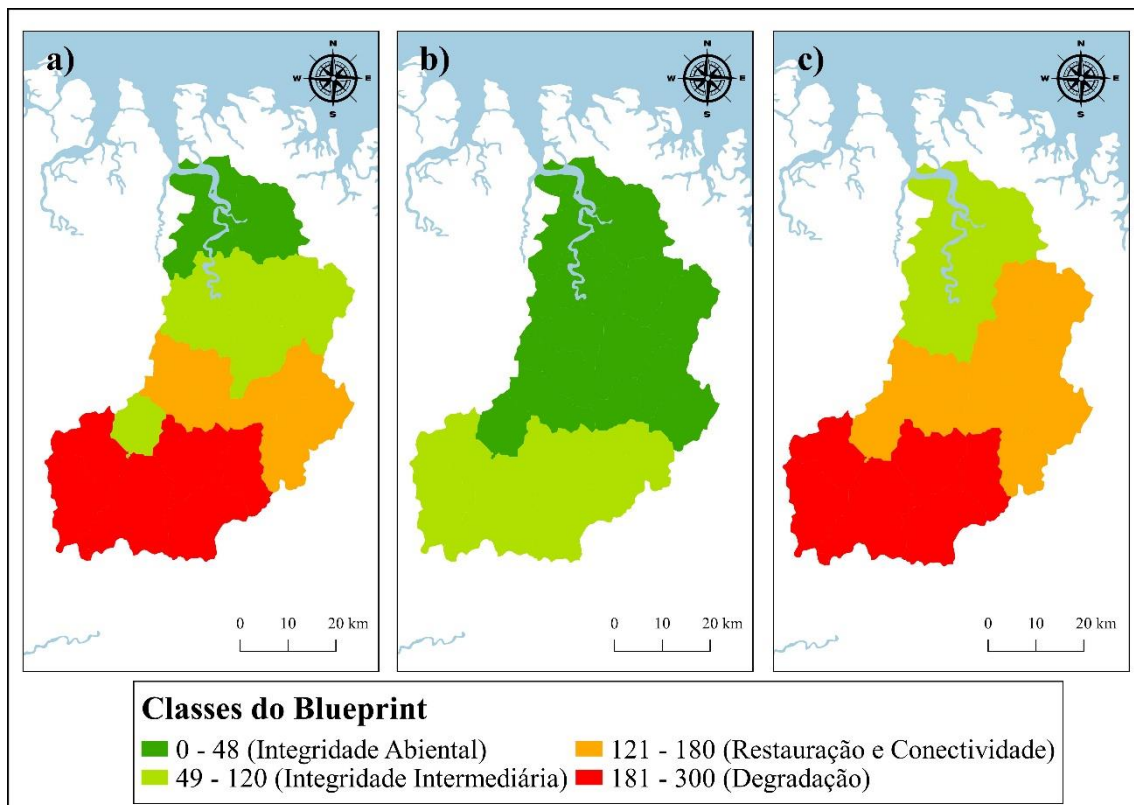
Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aumento da subsidência (ascendência) do vento sobre a região entre 10°S – 20°S (5°S – 5°N), além do déficit de umidade específica em 1000-3000 hPa ao sul de 10°S (Espinoza *et al.*, 2019).

O trimestre chuvoso, se manifesta com maior intensidade na região nordeste da Amazônia, essa tendência é influenciada pelos padrões estacionários da zona de Convergência do Atlântico Sul e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com o seu pico no mês de março (Nobre; Shukla, 1996; Cavalcante *et al.*, 2020). É observado também que períodos chuvosos também estão associados a La Niña no Oceano Pacífico, bem como do modo gradiente de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) apontando para o Sul no Oceano Atlântico (TSM anormalmente quente na bacia sul e fria na bacia norte), cujas configurações intensificam os eventos da ZCIT na região e originam os extremos chuvosos no estado do Pará (Souza *et al.*, 2000; Ferreira; Souza; Oliveira, 2020).

Ferreira, Souza e Oliveira (2020) observaram que tanto os sistemas meteorológicos de grande escala (ZCIT e ZCAS) e os de escala menor (linhas de instabilidade, aglomerados convectivos, brisas marítimas e fluvial) podem atuar em uma determinada região no estado do Pará, resultando em extremos climáticos chuvosos em qualquer trimestre do ano (Cohen; Silva Dias; Nobre, 1995; Fisch; Marengo; Nobre 1998). Ainda segundo os autores, a inter-relação entre os modos de variabilidade e os sistemas atmosféricos é direta, uma vez que os sistemas como a ZCIT e a ZCAS, são enfraquecidos ou intensificados em razão da manifestação do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e/ou do gradiente meridional de anomalias de TSM.

Os resultados dos mapas dos *Blueprints* (Figura 11), mostraram que no BPA tem a predominância da classe degradação (34,51%), com 106.740,97 ha, seguidas da classe Integridade Intermediária (27,73%) com 85.785,25 ha, Restauração e Conectividade (22,69%) com 70.182,35 ha, e Integridade Ambiental (15,07%) com 46.617,41 ha. No BPC, apresentou a maioria da classe Integridade Ambiental (61,64%) com 190.675,32 ha e Integridade Intermediária (38,36%) com 118.650,66 ha. No entanto, no BPS houve um aumento dos valores, resultando na maioria das classes: Restauração e conectividade (39,98%) com 123.671,55 ha, a classe Degradação (34,51%) com 106.740,97, e Integridade Intermediária (25,51%) com 78.913,46 ha.

Figura 11- Classes do Blueprint a) BPA; b) BPC; c) BPS.



Fonte: Elaborado pelo autor.

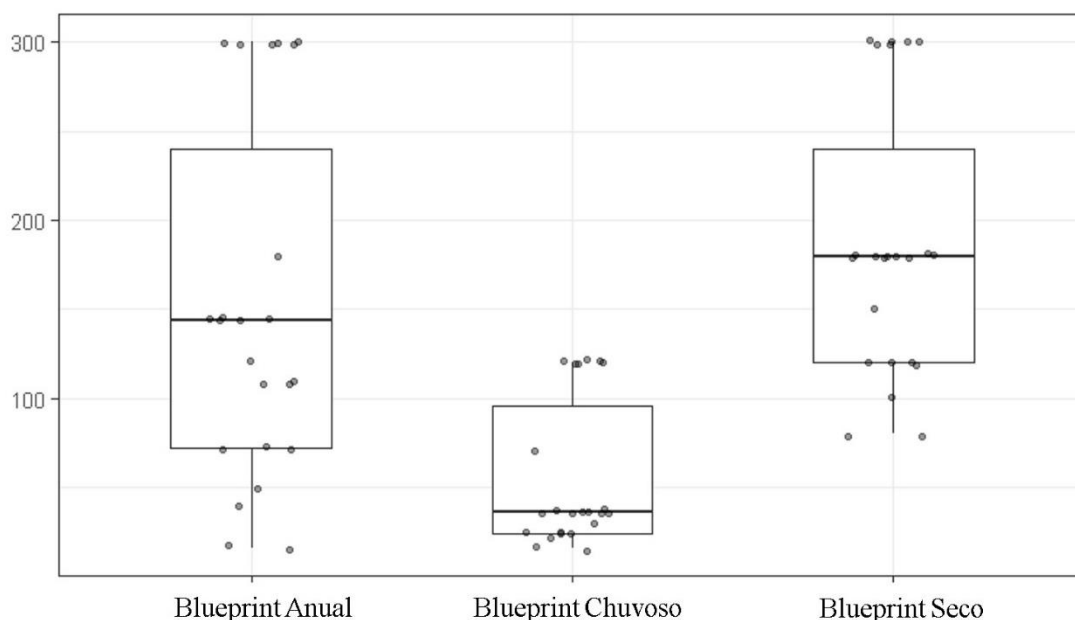
A precipitação tem um papel crucial nas classes encontradas, onde foi possível observar que apenas no período chuvoso a mesma apresenta predominância de valores baixos, ou seja, com classes de integridade ambiental e intermediária. No demais períodos anual e seco, apresenta valores alto, denotando unidades hídricas mais vulneráveis. No período chuvoso, a precipitação anual tem relação positiva com o crescimento das plantas e biomassa acima do solo, já o período seco influencia nessa dinâmica, afetando o ciclo do carbono e na regeneração florestal, sobretudo em florestas tropicais (Becknell *et al.*, 2021).

A redução da precipitação, principalmente em um cenário maior de secas intensas e mais longo no decorrer do tempo, podem influenciar na regeneração de florestas e na formação de biomassa, afetando a biodiversidade. Essa diminuição poderá ocorrer em cenários pessimistas e otimistas, sendo mais significativo em cenário pessimista, com uma redução de 160 mm/ano em cada vinte anos até 2100, na costa atlântica amazônica, podendo alterar as estruturas e funcionamento dos ecossistemas (Anjos *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a análise do *Blueprint* no período de média anual e nos períodos de média no trimestre chuvoso e seco (Figura 12), mostrou diferenças significativas de como

a tendência de conservação e degradação pode variar em diferentes épocas do ano, influenciados pelo regime de chuva.

Figura 12- Gráfico de boxplot dos períodos do BPA, BPC e BPS.

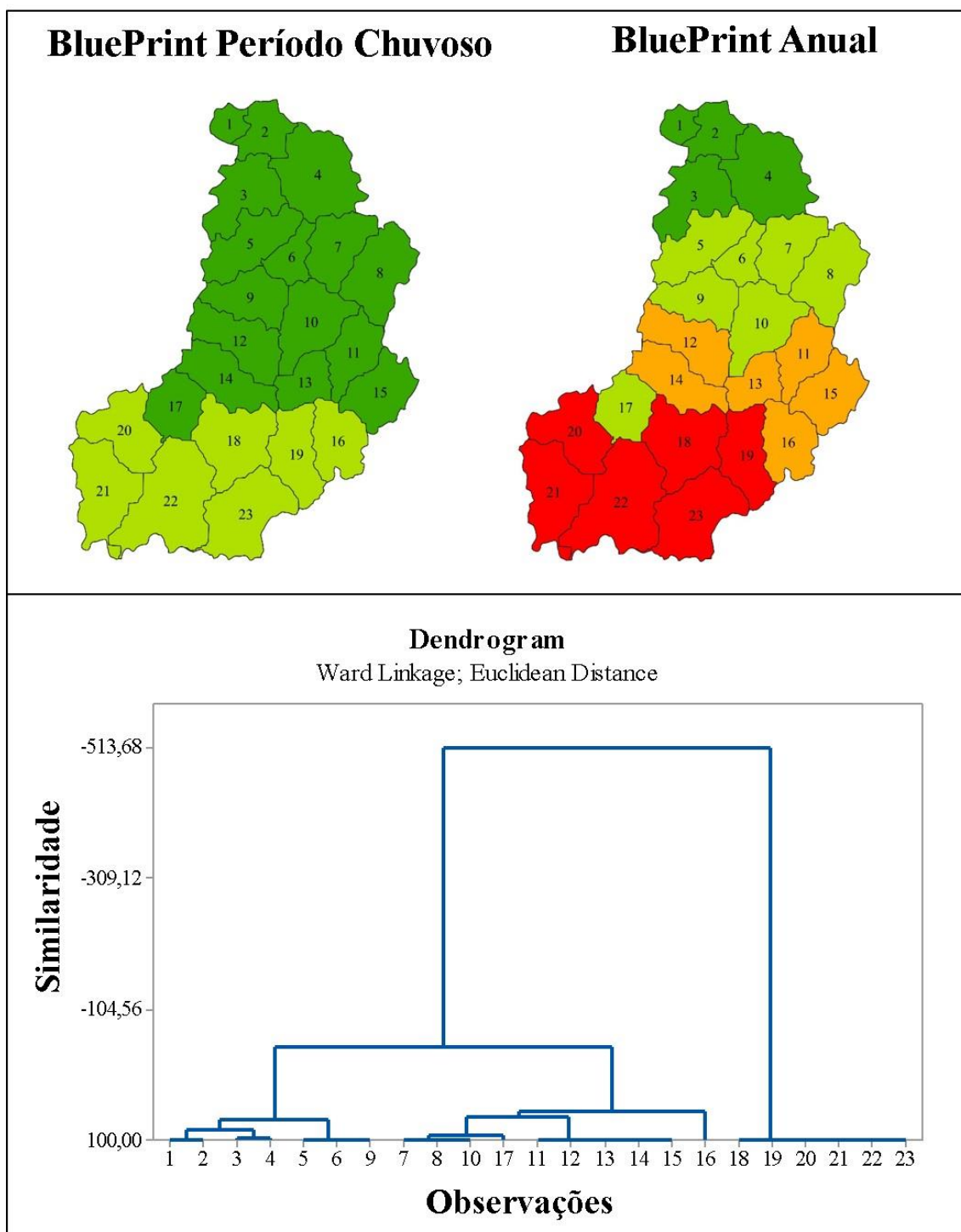


Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado de *Kruskal-Wallis* mostrou diferenças significativas entre os grupos do BPA, BPC e BPS ($\chi^2 = 29.395$, $df = 2$, $p\text{-value} < 0,05$). O teste pós hoc de Dunn, mostrou diferenças significativas entre BPA-BPC e BPS-BPC ($p\text{-adj} < 0,05$). Esses resultados fornecem uma interpretação que o BPA apresenta uma melhor distribuição dos valores, para compreender melhor as condições ambientais ao longo de um determinado período de tempo (média anual), ao invés de uma escala sazonal (trimestral).

A análise de clusters no período chuvoso e seco com o BPA foi realizada pelo dendrograma utilizando o método de Ward com a distância euclidiana (Figura 13 e 14). O mesmo mostrou que no BPA com o BPC (Figura 13), as unidades hídricas formaram três grupos de clusters, sendo o primeiro de 1 a 9, com exceção das unidades hídricas 7 e 8; o segundo cluster de 7 a 17, com exceção da unidade hídrica 9; e o terceiro do 18 ao 23. A semelhança entre os dois primeiros grupos pode ser explicada pela pouca variação das classes Integridade Ambiental e Intermediária e sua prevalência nos dois períodos analisados entre essas unidades hídricas.

Figura 13- Dendrograma do BPC com o BPA.

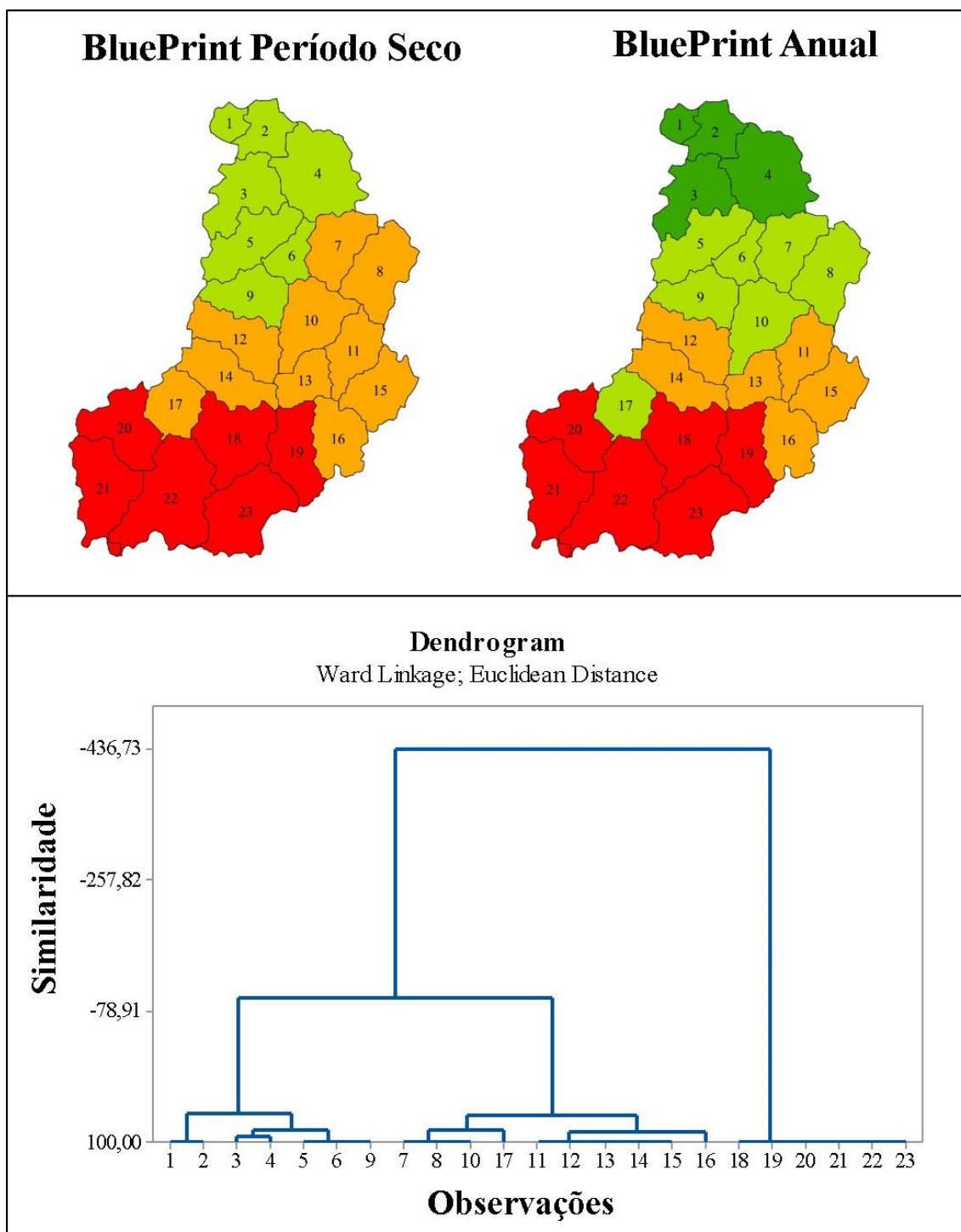


Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise de clusters do BPA com BPS (Figura 14), mostrou a formação de três grupos de cluster, sendo os mesmos na análise do BPA com BPC, onde é possível observar que não houve diferenças significativas nas análises dos dois dendrogramas. Outro destaque foi a unidade hídrica 17 no BPA, onde esse valor da classe Integridade

intermediária é proveniente que a mesma foi a única classe que não apresentou solo exposto, bem como valores de precipitação maior em comparação com os demais grupos de clusters. O terceiro grupo de cluster apresentou maior homogeneidade, explicada pelos altos valores na região de alto nos três períodos analisados.

Figura 14- Dendrograma do BPS com o BPA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, o primeiro e o segundo grupo de clusters nos dois dendrogramas apresentaram maior conservação e menos propensas à degradação em uma escala do maior para o menor, respectivamente, independente da sazonalidade e período anual. Esse cenário, é influenciado principalmente pela presença de vegetação primária e mangue das UC's presentes nessas unidades hídricas.

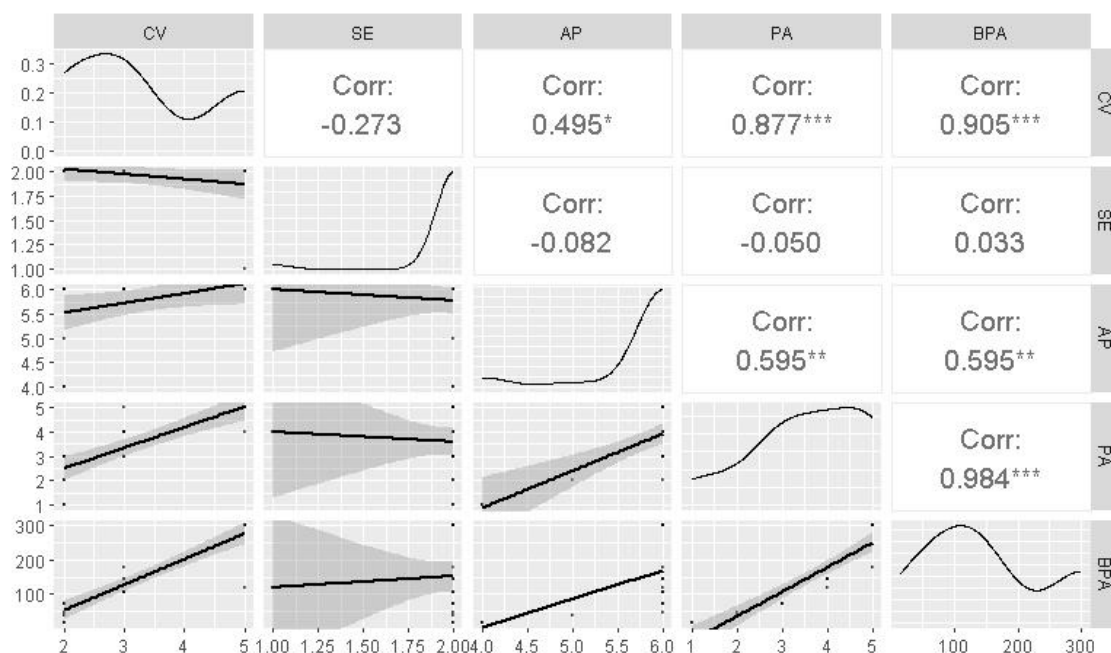
As áreas protegidas amazônicas são importantes para os fluxos gênicos das espécies, servindo como corredores ecológicos. No entanto, as mudanças climáticas no regime de chuva poderão influenciar na sua diminuição, resultando em uma maior exposição dessas áreas protegidas, porém menos exposta que outras áreas não protegidas, o que enfatiza a importância de sua manutenção como ferramenta de conservação da biodiversidade (Torres-Amaral *et al.*, 2023).

É importante ressaltar que as relações da precipitação na vegetação e outros usos da terra, são do ano de 2020 pelo TerraClass, e a série de precipitação admitida seja até 2000, e os mesmos apresentem a evolução ocorrida a até este período. No entanto, a série de precipitação é de longo período (50 anos), pois consegue retratar as condições climáticas da região.

As Figuras 15, 16 e 17 indicam uma correlação significativa do BPA com a média da precipitação anual ($r = 0,98$), BPA com a cobertura vegetal natural ($r = 0,90$), e média da precipitação anual com a cobertura vegetal natural ($r = 0,88$) ($p < 0,001$). Outras relações significativas foram o BPA com a agropecuária ($r = 0,59$) e média da precipitação anual com a agropecuária ($r = 0,60$) ($p < 0,01$), bem como cobertura vegetal com a agropecuária ($r = 0,50$; $p < 0,05$).

A relação do uso e cobertura da terra no período chuvoso apresentou correlação significativa entre BPC com TC ($r = 0,82$), BPC e cobertura vegetal natural ($r = 0,89$), e TC com cobertura vegetal natural ($r = 0,73$) ($p < 0,001$). Outra correlação significativa, porém, um pouco menos em comparação com a anterior, foi a relação entre BPC e agropecuária ($r = 0,60$; $p < 0,01$).

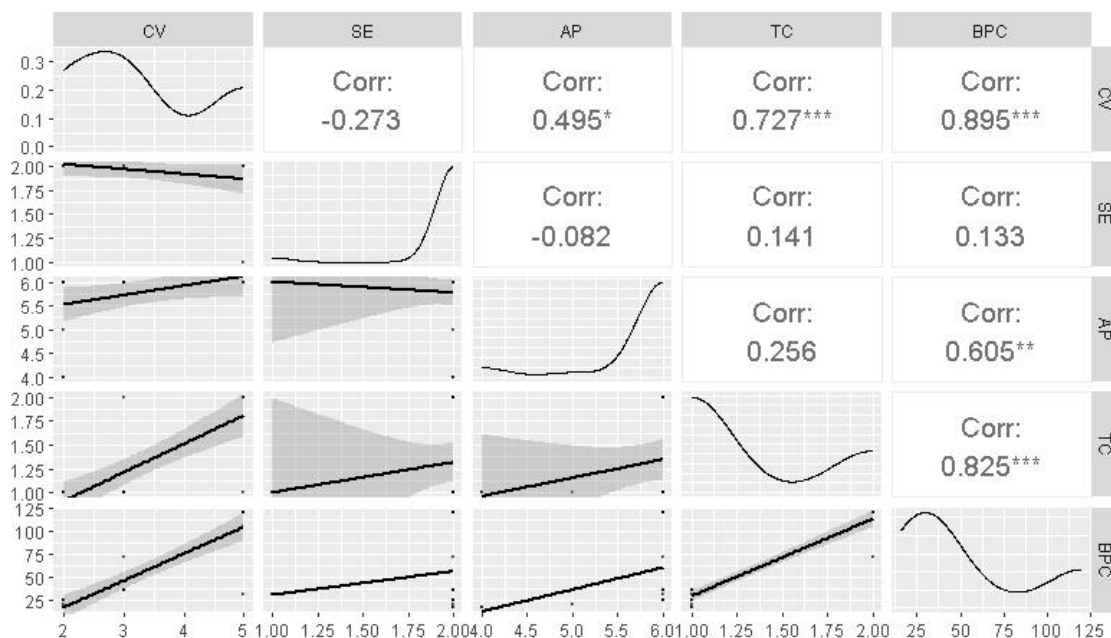
Figura 15- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação anual e BPA.



Nota: CV=Cobertura Vegetal Natural; SE=Solo Exposto; AP=Agropecuária; PA=Média da Precipitação Anual; BPA=BluePrint Anual; *= significância no nível 0,05; **= significância no nível 0,01; ***=significância no nível 0,001.

Fonte: Elaborado pelo autor.

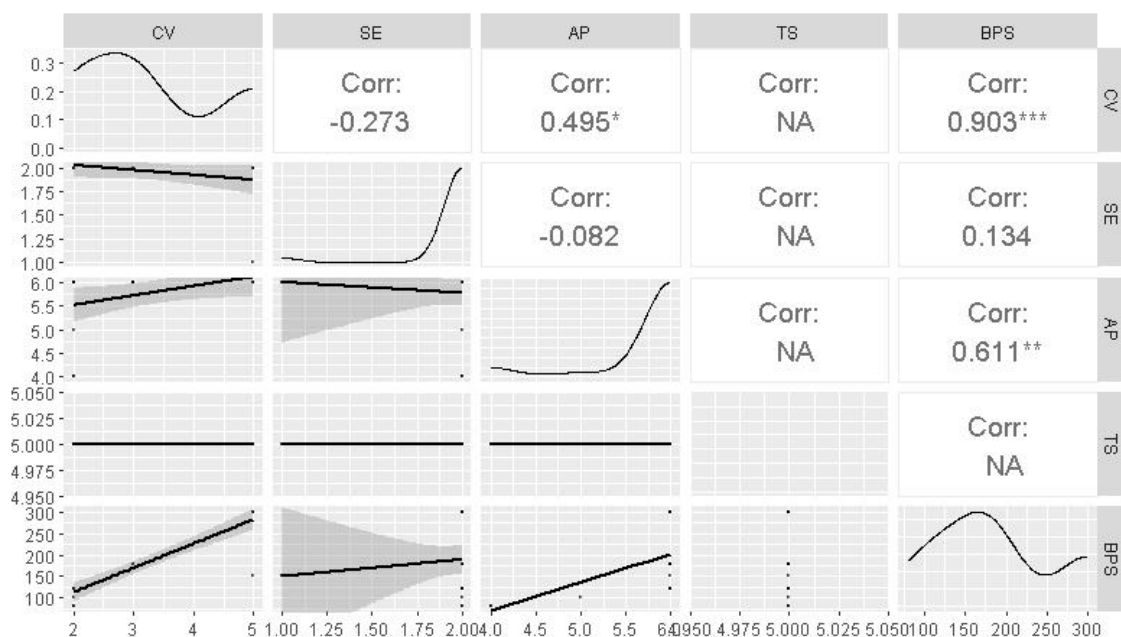
Figura 16- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação do trimestre seco e BPC.



Nota: CV=Cobertura Vegetal Natural; SE=Solo Exposto; AP=Agropecuária; TC=Média do trimestre chuvoso; BPC=BluePrint chuvoso; *= significância no nível 0,05; **= significância no nível 0,01; ***=significância no nível 0,001.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17- Correlação entre variáveis de uso da terra, média da precipitação do trimestre seco e BPS.



Nota: CV=Cobertura Vegetal Natural; SE=Solo Exposto; AP=Agropecuária; TS=Média do trimestre seco; BPS=BluePrint seco *= significância no nível 0,05; **= significância no nível 0,01; ***=significância no nível 0,001; NA= Sem variação. Fonte:

Elaborado pelo autor.

No período seco, a correlação mais significativa foi entre o BPS e cobertura vegetal natural ($r = 0,90$; $p < 0,001$), e BPS com agropecuária ($r = 0,61$; $p < 0,01$). A correlação presente nas três matrizes de correlação entre agropecuária e cobertura vegetal natural ($r = 0,50$; $p < 0,05$), apesar de ser menor comparado as outras, mas significativa, pode ser explicada pela distribuição espacial, na qual áreas próximas à foz apresentam maior cobertura vegetal natural e menor atividades agropecuárias, sendo ambas apresentando 3 classes distintas de reclassificação. Outro fator, é a influência da cobertura vegetal na agropecuária como inserção de leguminosas e Sistemas Agroflorestais, pois ambas alinhadas desempenham papel importante na melhoria da saúde biológica do solo, aumentando a abundância da comunidade microbiana, biomassa e estrutura ecológica, em comparação com nenhuma cultura de cobertura vegetal nas atividades agrícolas (Rego; Kato, 2018; Muhammad *et al.*, 2021).

Nas matrizes de correlação foi possível observar que em todas, a cobertura vegetal natural apresentou maior correlação significativa. Isso se deve ao fato da cobertura vegetal ser um fator determinante nas condições de conservação ambiental no modelo *BluePrint*, sugerindo sua importância nos resultados, e como ressaltado na manutenção

ecológica, pois o desmatamento está associado à redução de espécies florestais e perda acelerada da biodiversidade (Brandão; Barata; Nobre, 2022).

A precipitação nos três períodos apresentou correlação significativa com as classes de uso e cobertura da terra, sobretudo com a cobertura vegetal natural, estando vinculado a importância da chuva nessas classes, pois a mesma é componente essencial do ciclo hidrológico, auxiliando na recarga e balanço hídrico (Serrão *et al.*, 2022). No entanto, no período seco, não houve correlação, pois, a chuva não apresentou um padrão de variabilidade, permanecendo com déficit hídrico na escala de reclassificação.

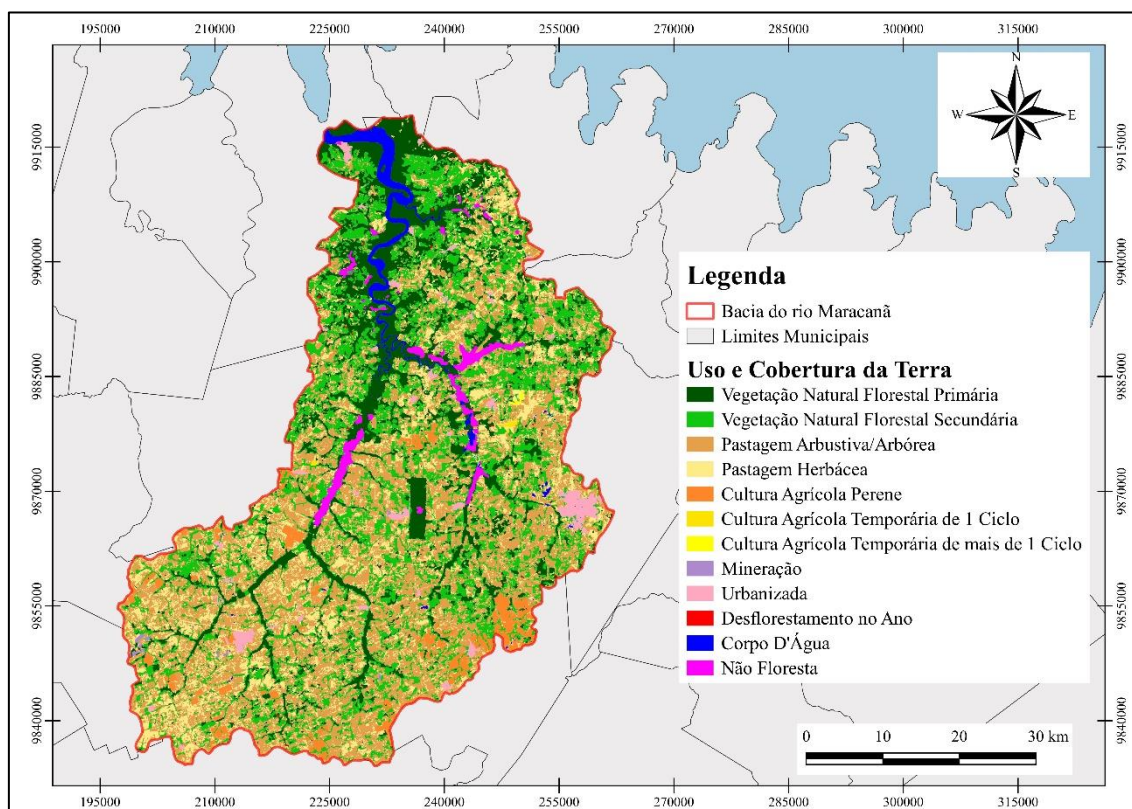
A Matrix de correlação do BPA com demais classes e PA, apresentou maior interação e correlações entre si, pois os valores tiveram maior variabilidade, o que ressalta que a escala anual apresenta valores mais heterogêneos para explicar as interações com as classes e variáveis climatológicas. Os resultados nos dois períodos (chuvoso e seco) são essenciais para entender essas mudanças e dinâmica do comportamento das classes de uso e cobertura da terra no período seco e chuvoso, enfatizando a importância da manutenção da cobertura vegetal para o ciclo hidrológico nessas escalas sazonais, pois são períodos que destaca a vegetação como resiliente, especialmente no período seco para contribuir com a manutenção da biodiversidade e no conforto térmico.

Diante disso, os resultados da pesquisa podem auxiliar na compreensão espacial das áreas que apresentam déficit hídrico e de degradação, sobretudo na região sul da bacia, que apresenta maior heterogeneidade de classes de uso da terra, porém impactando no ciclo hidrológico (recarga hídrica, escoamento e evapotranspiração) com maior intensidade em uma escala anual e sazonal (período chuvoso e seco). Dessa forma, é necessária uma maior manutenção dessas áreas de cobertura vegetal, bem como ações e fortalecimento de políticas existentes, afim de restaurar as áreas de cobertura vegetal ao longo das regiões de médio e alto curso da bacia da BHRM.

7.2 AVALIAÇÃO DO INDICADOR AMBIENTAL

A caracterização do uso e cobertura da terra é fundamental como forma de identificação, espacialização da estrutura da paisagem, bem como, para auxiliar no planejamento ambiental e territorial (Santos *et al.*, 2020). A BHRM apresenta pastagem arbustiva/arbórea (34,92%), seguida de vegetação natural florestal secundária (27,00%) (Figura 18 e Tabela 8).

Figura 18- Uso e cobertura da terra da BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8- Quantificação das classes de uso e cobertura da terra.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Vegetação Natural Florestal Primária	51468,87	16,64
Vegetação Natural Florestal Secundária	83530,17	27,00
Pastagem Arbustiva/Arbórea	108019,37	34,92
Pastagem Herbácea	41063,68	13,28
Cultura Agrícola Perene	8782,24	2,84
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	204,21	0,07
Cultura Agrícola Temporária de mais de 1 Ciclo	105,89	0,03
Mineração	339,41	0,11
Urbanizada	5039	1,63
Desflorestamento no Ano	168,4	0,05
Corpo D'Água	5486,06	1,77
Não Floresta	5115,87	1,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outras classes predominantes foram vegetação natural florestal primária com 16,64% e pastagem herbácea com 13,28% da área total da bacia. Esses resultados indicam uma maior preservação da vegetação primária próximo à foz, e áreas de pastagens e matas em regeneração (capoeiras) na parte mais ao sul da bacia, apesar também de apresentar bastante área de vegetação secundária na borda oeste próximo à sua foz.

As áreas de pastagem são mais presentes nas regiões de médio a alto curso, isso se deve ao fato dos municípios nesta região serem maiores produtores de rebanho bovinos na região da bacia, bem como o histórico e longo processo de uso da terra pecuária, principalmente São Miguel do Guamá e Castanhal, na qual possuem cerca de 46.400 e 36.581 cabeças de gado respectivamente (Fapespa, 2023).

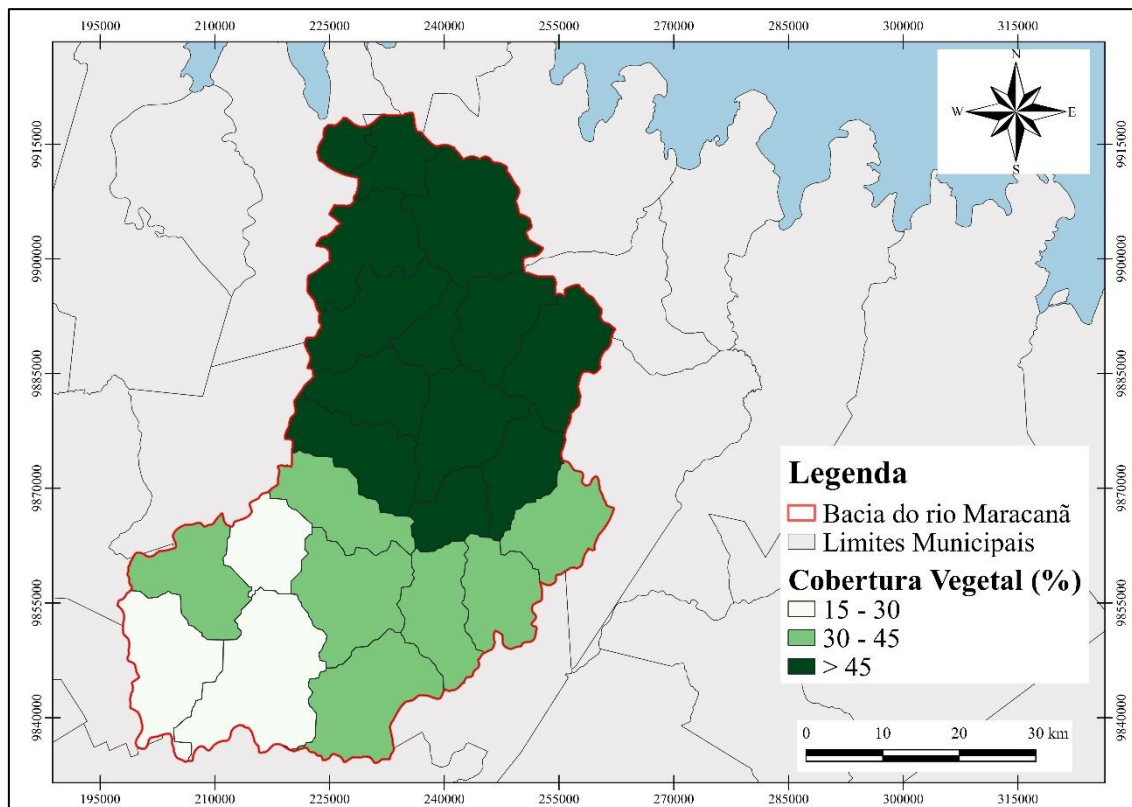
As fortes presenças das áreas agrícolas são caracterizadas pela produção de Óleo de Palma (*Elaeis guineenses* Jacq.), principalmente em Bonito e Igarapé-Açu, com uma quantidade produzida de 181.870 t e 116.714 t respectivamente (Faepa, 2023). Além também da maioria da presença da produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) nos municípios dessas regiões, sendo a produção de mandioca a mais representativa na mesorregião do nordeste Paraense representando aproximadamente em valor, produção e área colhida, 40,62%, 50,83% e 26,17% respectivamente (Santos; Vitorino; Pimentel, 2017; Faepa, 2023).

As áreas de mineração sobretudo ao longo dos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará é oriunda da extração de pedras e areia para a construção civil, isso reflete as extensivas áreas de extração mineral no estado do Pará, representando o segundo maior produtor com uma participação na arrecadação do Brasil equivalente a 41,70% (Vale; Bordalo; Fonseca, 2016; Simineral, 2022). As áreas de vegetação secundárias, geralmente são associadas ao modelo de agricultura de derruba e queima na Amazônia, na qual consiste na regeneração florestal da terra (pousio), para posteriormente a implantação de culturas agrícolas, sendo uma atividade rotacional, no entanto, a longo prazo essa prática causa danos ambientais na qualidade do solo (Silva *et al.*, 2021).

A cobertura vegetal da bacia (Figura 19) apresentou predominância na região de baixo curso próximo a foz, ou seja, maior área de cobertura vegetal em relação a área de cada unidade hídrica na região. A área que apresentou maior cobertura vegetal variou de 45 a 74% nas unidades hídricas próximo foz da bacia, representando 70,15% da área total da bacia, e nas demais quanto mais ao sul, variou de 30 a 45% e de 15 a 30%, representando respectivamente 22,47% e 7,38% da área total da bacia, sendo esta última

as áreas próximas ao município de Castanhal, Santa Maria do Pará, Igarapé-Açu e São Miguel do Guamá.

Figura 19- Mapa da cobertura vegetal na BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados no indicador hidrológico, destacando sobretudo as florestas de mangue e as UC's nessa região que interferem em uma melhor qualidade ambiental dos ecossistemas nessa região da bacia. E na parte sul, a influência das áreas de consolidação com histórico e intensivo uso da terra para as atividades agrícolas.

7.3 AVALIAÇÃO INDICADOR SOCIAL

Os resultados dos indicadores sociais (IDHM e IPS) ajudam a compreender os acessos à serviços básicos, além de que ambos se complementam, servindo como ferramenta essencial para medir à acessibilidade e impactos de políticas públicas. A tabela 9 apresenta os resultados de IDHM e IPS para os municípios que estão inseridos na BHRM.

Tabela 9- Valores de IDHM e IPS para os municípios que compõe a BHRM.

Município	IDHM	IPS	Área dentro da bacia (km ²)	Área dentro da bacia (%)
Maracanã	0,57	55,61	210,82	6,82
Salinópolis	0,65	56,23	39,16	1,27
São João de Pirabas	0,54	54,73	133,50	4,32
Santarém-Novo	0,69	54,17	229,71	7,43
Primavera	0,58	54,89	55,75	1,80
Igarapé-Açu	0,60	52,50	384,57	12,43
Nova Timboteua	0,61	55,77	490,32	15,85
Peixe-Boi	0,58	50,40	450,58	14,57
Capanema	0,66	49,68	122,36	3,96
Bonito	0,55	55,06	302,40	9,78
Santa Maria do Pará	0,60	51,83	458,19	14,81
Castanhal	0,67	55,18	70,20	2,27
São Francisco do Pará	0,61	52,37	80,63	2,61
São Miguel do Guamá	0,59	51,64	65,08	2,10

Fonte: Imazon (2023); Pnud (2022).

Os resultados indicam que os três maiores valores de IDHM são Santarém-Novo, Castanhal e Capanema, isso se deve ao fato principalmente de Castanhal e Capanema serem municípios polos comerciais na região, apresentando condições favoráveis de longevidade, educação e renda. Os três municípios com piores IDHM foram São João de Pirabas, Bonito e Maracanã, podendo ser explicado pela falta de pluriatividades comerciais ou baixa atividades comerciais que englobem grande parte da população, bem como maior desigualdade e infraestrutura, o que implicou nesses resultados.

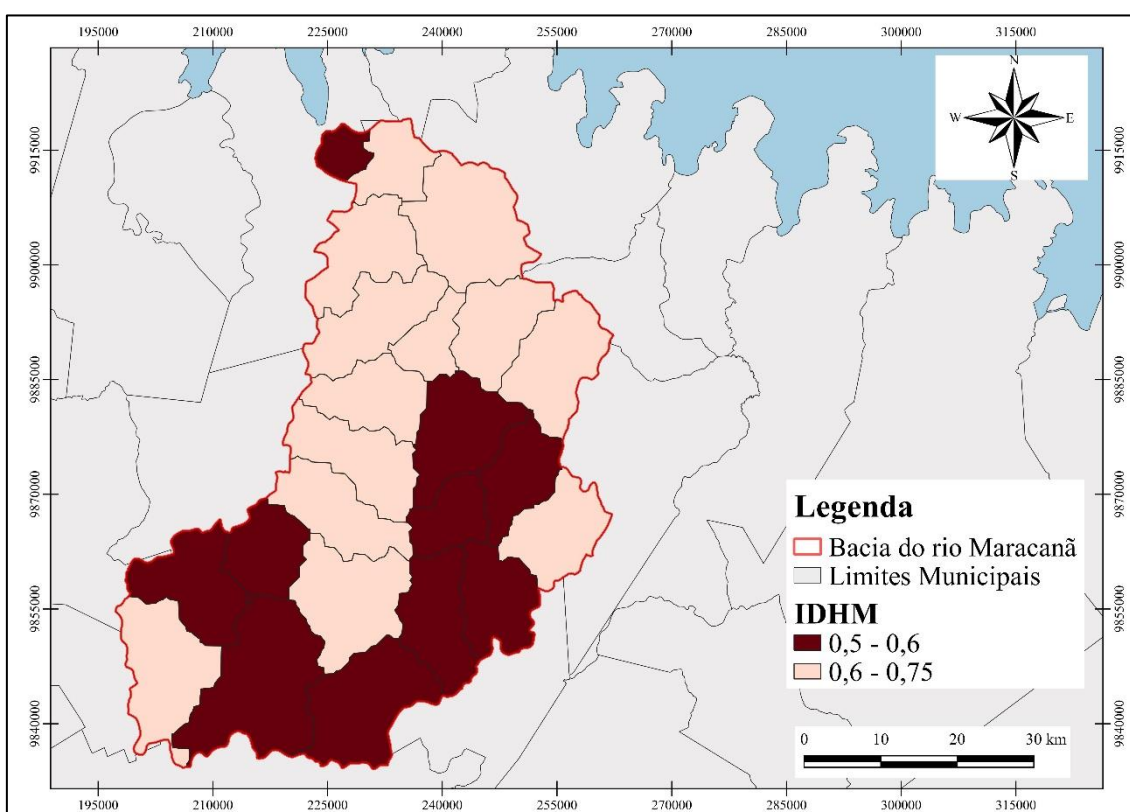
No entanto, o IDHM trazem algumas limitações como: de não serem conhecidos os padrões de mortalidade dos recortes espaciais que, para tanto, deveriam dispor de estatísticas vitais fidedignas; a medida da educação da população jovem não inclui toda a população em idade escolar e frequentando a escola, captando apenas determinados momentos da passagem da população jovem pelo sistema educacional; não considera a desigualdade de renda entre os habitantes da área de referência, por exemplo, um município pode apresentar uma elevada renda *per capita*, mas, ao mesmo tempo, pode ter uma grande parcela de sua população vivendo na pobreza (Pnud, 2022).

Em relação ao IPS, os três melhores municípios foram Salinópolis, Nova Timboteua e Maracanã respectivamente. Já os três municípios que apresentaram piores valores de IPS foram Capanema, Peixe-Boi e São Miguel do Guamá respectivamente. Esses resultados indicaram diferenças em relação ao IDHM, isso se deve ao fato pela robustez que o IPS possui na sua composição, considerando mais variáveis, além também do IDHM encontrar-se desatualizado. Outro fato, é que apesar do IPS está associado aos indicadores econômicos, no entanto, apenas crescimento econômico não explica

totalmente o progresso social, já que crescimento econômico sem progresso social resulta em degradação ambiental, aumento na desigualdade, exclusão e conflitos sociais (Santos *et al.*, 2023).

A partir da espacialização da média ponderada do IDHM nas unidades hídras da BHRM (Figura 20) foi possível observar que os maiores valores (0,6-0,75) estão em sua maioria na região de baixo curso, e parcialmente na região de médio curso, representando cerca de 57,52% da bacia. Os valores entre 0,5 a 0,6 representaram 42,48% da bacia, sendo a maioria localizada na porção de alto curso.

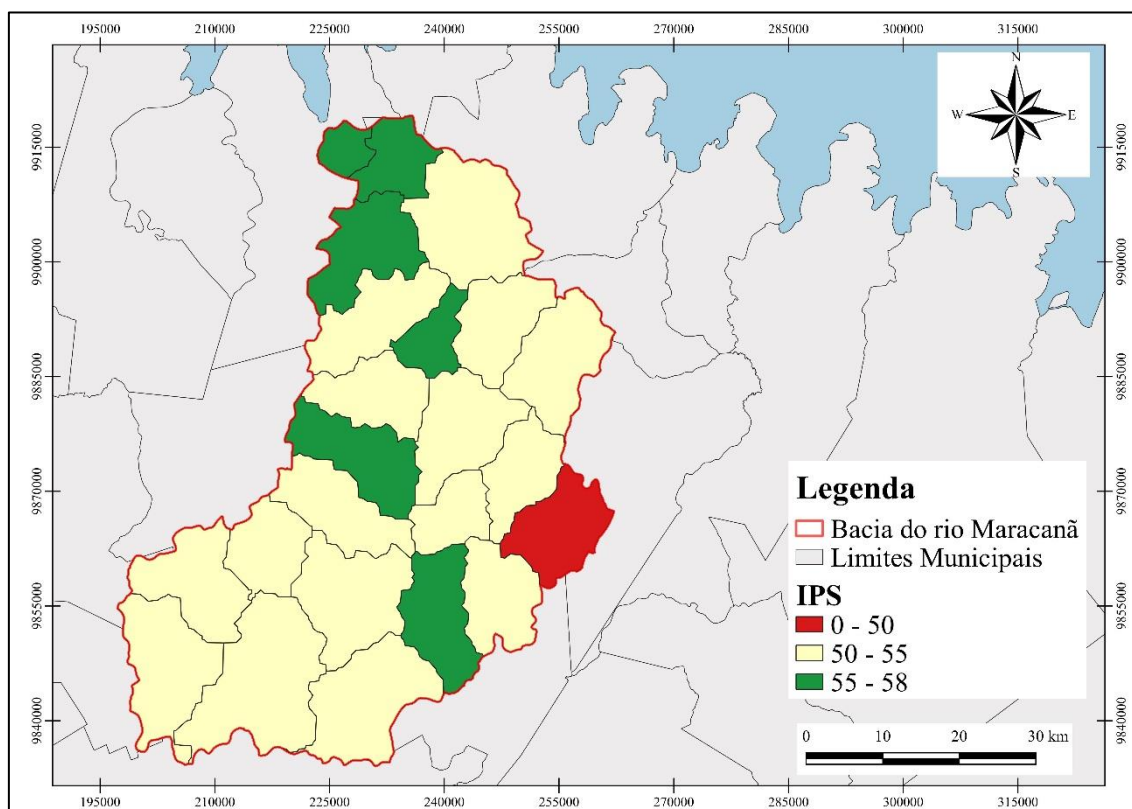
Figura 20- Mapa do IDHM da BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O IPS das unidades hídras baseadas na média ponderada (Figura 21) apresentou a maioria dos valores entre 50 a 55, representando 76,78% da bacia, seguida dos valores entre 55 a 58 que representaram 19,15% da bacia, sendo este último os melhores valores de IPS, cuja a maioria está presente próximo a foz na porção de alto curso. Já o menor valor de IPS (0-50) esteve presente em apenas uma unidade hídrica na borda leste, influenciada pela questão da sede municipal de Capanema está dentro desta unidade hídrica, a qual representou apenas 4,07% de toda a bacia.

Figura 21- Mapa do IPS da BHRM.



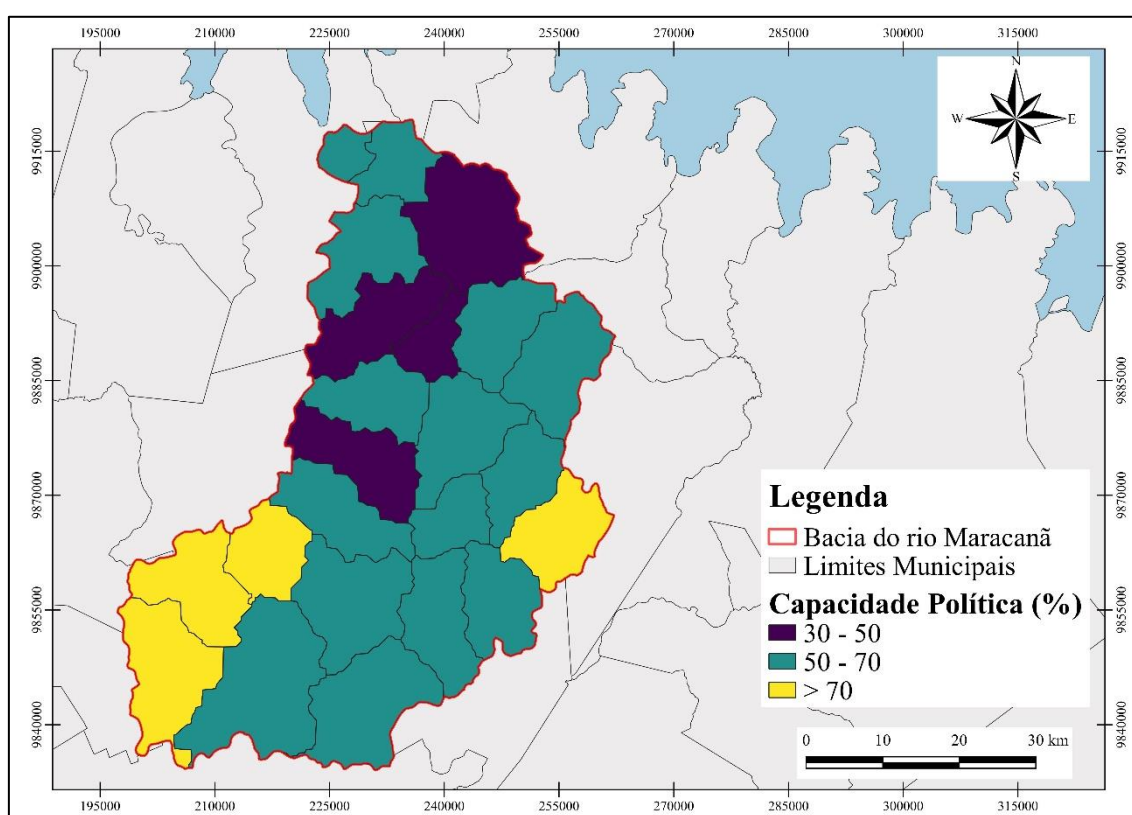
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os baixos valores do IDHM e IPS refletem os baixos valores de indicadores sociais na Amazônia, especialmente na região norte, na qual o Pará possui um IDHM de 0,65 (Pnud, 2022). Em relação ao IPS, a Amazônia em 2023 apresentou um IPS médio de 54,32, estando abaixo da média geral do IPS Brasil (67,94), e o Estado do Pará apresentando 52,68, portanto abaixo da média do IPS Amazônia (Santos *et al.*, 2023). Esses comparativos ressaltam o motivo de baixos indicadores sociais na área de estudo, e a necessidade da melhoria desses indicadores.

7.4 AVALIAÇÃO DO INDICADOR POLÍTICO

A capacidade política de cada município foi baseada nos dados secundários oriundos dos sites oficiais das prefeituras e do governo do estado do Pará, na qual está presente no Apêndice B, com os devidos cálculos das médias aritméticas dos parâmetros analisados. A Figura 22 apresenta as médias ponderadas para cada unidade hídrica relacionado à capacidade política de cada município.

Figura 22- Mapa da capacidade política da BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostram que a maioria das unidades hídricas variou de 50 a 70% da capacidade política, representando 64,46% de toda a área da bacia, estando presente em todas as regiões da bacia. Os valores de maior capacidade política (>70%) representaram 17,69% da área da bacia, estes resultados foram influenciados pela alta capacidade política dos municípios de Castanhal, Capanema São Francisco do Pará e Igarapé-Açu respectivamente. As menores unidade hídricas com capacidade política (30 a 50%)

representaram 17,85% da área da bacia, estando associado aos baixos valores de capacidade política dos municípios de Santarém-Novo, Primavera, Nova Timboteua, e São João de Pirabas.

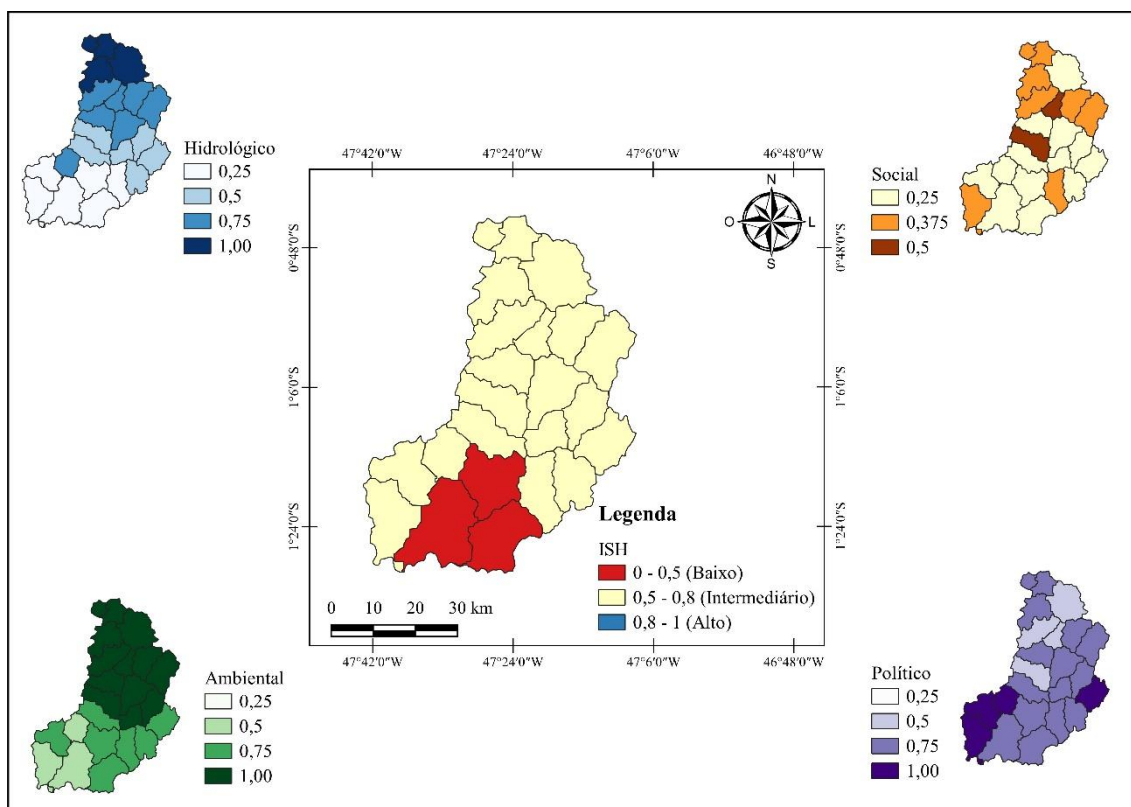
Os baixos valores de capacidade política ressoam a falta de capacidade política, estrutural e institucional sobretudo na gestão de recursos hídricos no estado do Pará (Cirilo; Almeida, 2022). Portanto, isso é reflexo de instrumentos da PNRH que ainda não estão implementados integralmente e parcialmente, como: Enquadramento dos corpos d'águas; incompatibilidades legislativas da outorga de direito de uso dos recursos hídricos; ausência da aplicação do instrumento de cobrança; falta de regulamentação de compensação dos municípios; e o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos que se encontra desatualizado (Pará, 2021).

Os baixos valores também são influenciados pela carência da implementação de instrumentos da PEGC/PA, bem como de um Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, refletindo também na gestão de riscos e desastres no que envolve a prevenção e mitigação da erosão costeira e avanço do nível do mar, além também na gestão de uso dos recursos naturais da zona costeira do estado do Pará (Szlafsztein, 2009; Espírito-Santo; Szlafsztein, 2016).

7.5 SUSTENTABILIDADE HÍDRICA APLICADO À GESTÃO COSTEIRA DA BHRM

A sustentabilidade hídrica da BHRM (Figura 23) foi calculada a partir da dimensão HELP, através das médias aritméticas dos indicadores. Foi possível observar que a maioria das unidades hídricas apresentou valor intermediário de acordo com Chavez e Alipaz (2007), representando aproximadamente 80% da bacia, seguido de valores considerados baixos, indicando 20% do total da bacia. Os valores da classe alto não foram encontrados para a bacia.

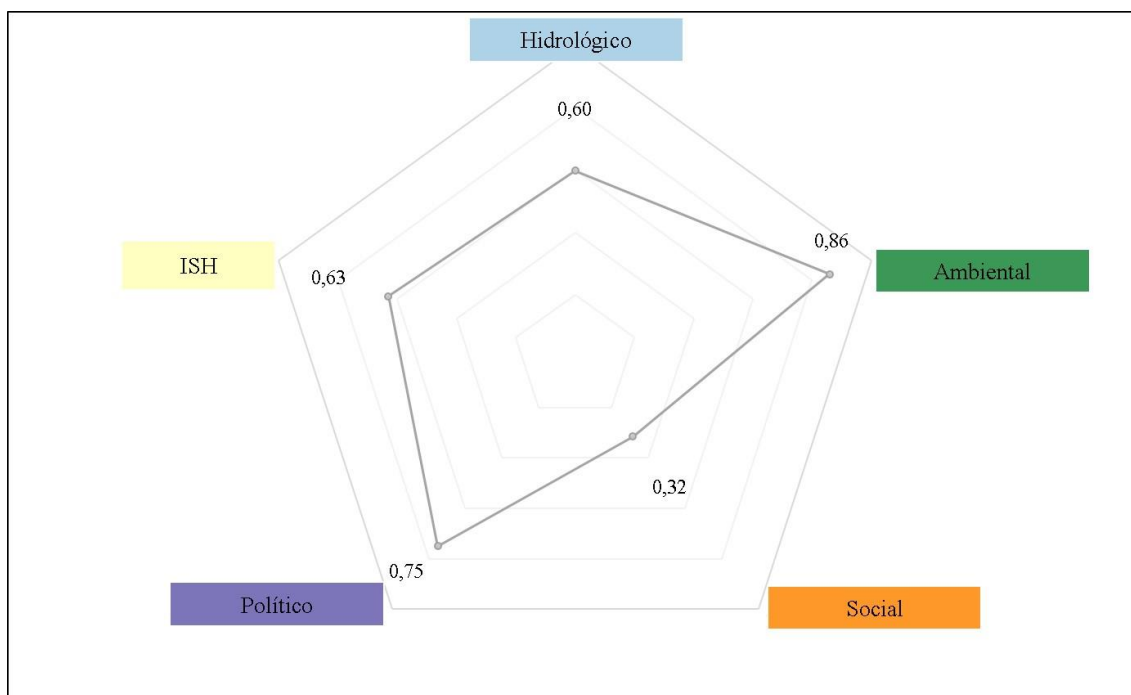
Figura 23- Resultado do ISH e Indicadores da dimensão HELP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A média geral do ISH para a bacia (Figura 24) mostrou um valor de 0,63, considerado um ISH intermediário de acordo com Chavez e Alipaz (2007). O indicador Ambiental e o Político foram os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH.

Figura 24- Média do ISH e dos Indicadores HELP da BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes resultados encontrados para a BHRM estão em consonância aos encontrados em bacias também na região da Amazônia Oriental, como os encontrados por Ferreira, Lima e Corrêa (2020) na bacia do rio Moju, que apresentou um ISH de 0,61 e com os menores indicadores sendo o social e o hidrológico com 0,47 e 0,50 respectivamente. Rocha e Lima (2020) encontram também um valor de intermediário (0,54) para a bacia do rio Guamá, sendo os indicadores sociais e políticos os menores, e os que mais influenciaram nesse valor de ISH.

Em bacias adjacentes à BHRM, no nordeste do Pará, como a bacia do rio Caripi e Igarapé-Açu, foram encontrados valores intermediários de 0,69 e 0,56 respectivamente, sendo os menores indicadores foram os sociais, hidrológicos e políticos para a bacia do Caripi, e indicadores sociais e políticos para a bacia do rio Igarapé-Açu (Tamasauskas *et al.*, 2016). Na bacia do rio Marapanim, a maioria das sedes municipais que compõe a bacia, apresentaram valores intermediários, porém apenas a sede de São Francisco do Pará apresentou valores considerados bom, influenciados pelos baixos valores dos indicadores ambientais e hidrológicos (Silva *et al.*, 2021).

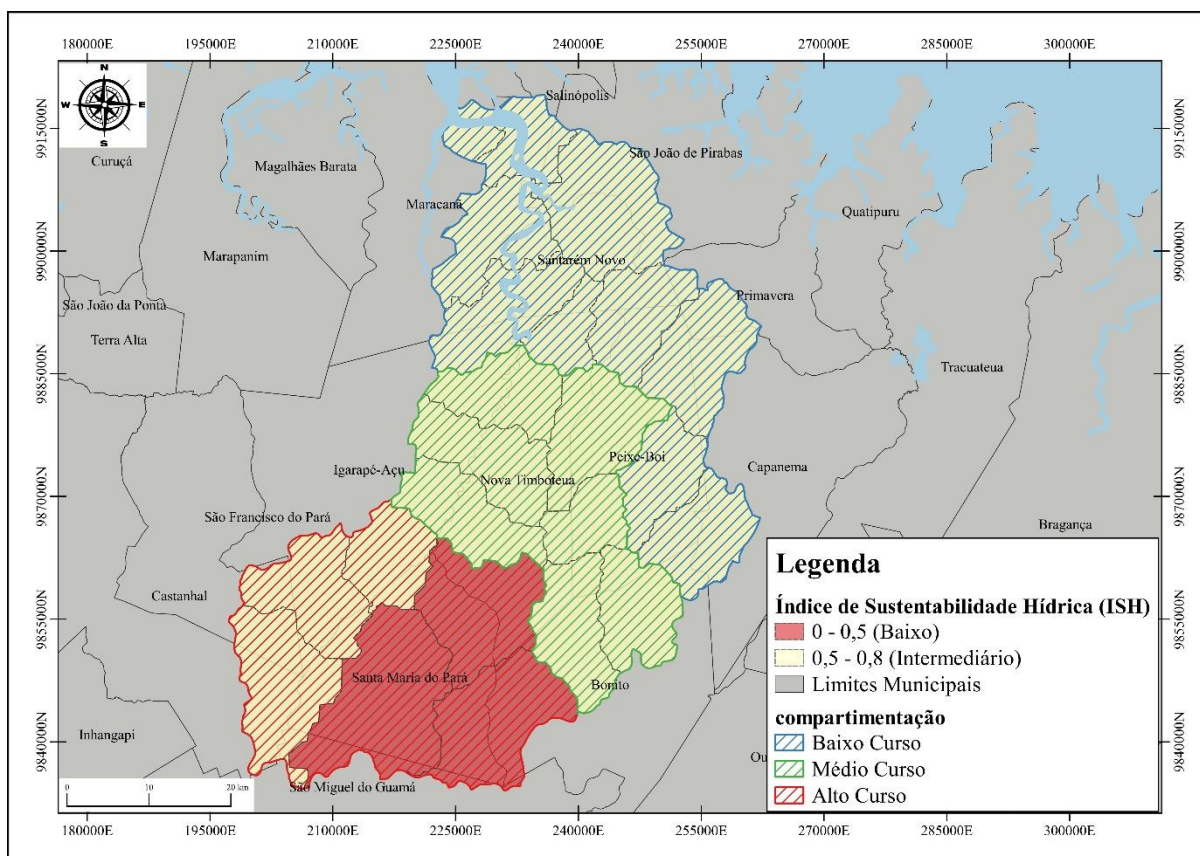
Outros resultados encontrados em outras regiões do Brasil e do Mundo, como encontrado por Maynard, Cruz e Gomes (2017) para a bacia do rio Japarutuba, no estado de Sergipe apresentou um valor de 0,66 (intermediário); a bacia do rio São Francisco

verdadeiro que apresentou 0,65 (intermediário) e a bacia do rio Reventazón, na Costa Rica que apresentou 0,74 (intermediário); além também da bacia do rio Langat, na Malásia que apresentou 0,68 (intermediário) (Chavez; Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009; Elfithri *et al.*, 2018). Dessas bacias, apenas a do rio Reventazón apresentou valores mais críticos para o Indicador Social, e as bacias do rio Japarutuba e Langat que foram o indicador hidrológico, sendo estes resultados semelhantes ao encontrado pela pesquisa (Chavez; Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009; Elfithri *et al.*, 2018).

Outro resultado diferente foi o encontrado por Núñez-Razo *et al.* (2023) na bacia do rio Santiago, no México, com uma média geral de 0,36, sendo influenciados principalmente pela Indicador Ambiental em sub-bacias de baixa sustentabilidade hídrica, e pelo Indicador Hidrológico nas sub-bacias que obtiveram sustentabilidade hídrica intermediária.

Considerando o ISH na compartimentação da bacia da BHRM (Figura 25), visando o suporte à gestão costeira, é observado os resultados do ISH ao longo da região de baixo, médio e alto curso da bacia. Na porção de baixo e médio curso apresentaram ISH intermediário, e na porção de alto curso apresentou 59,51% com valores de baixa sustentabilidade hídrica e o restante 40,49% apresentou intermediária sustentabilidade hídrica.

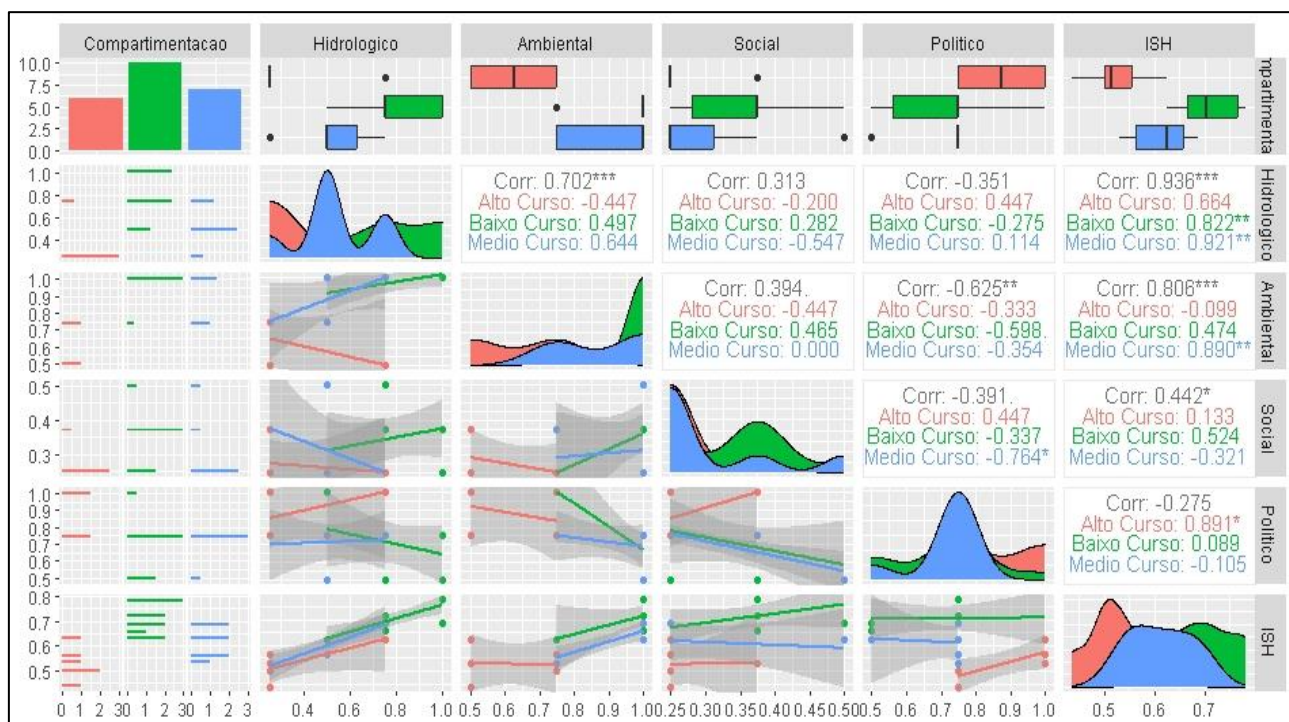
Figura 25- ISH e a compartimentação da BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise de correlação agrupada das variáveis e da compartimentação da bacia (Figura 26) mostrou que a correlação mais significativa foi dos indicadores ambiental e hidrológico ($r = 0,70$; $p < 0,001$), sobretudo na região de médio e alto curso. Essa correlação forte se deve ao fato da construção dos indicadores considerarem a porcentagem de cobertura vegetal nas unidades hídricas, portanto tendo um comportamento espacial similar nessas regiões, principalmente de forma positiva, mesmo considerando a variável precipitação, influenciando na recarga hídrica e na conservação da biodiversidade local.

Figura 26- Scatterplot da distribuição e correlação de Spearman entre os indicadores e ISH na compartimentação da bacia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ISH se mostrou com correlação significativas com os indicadores Hidrológico e Ambiental ($r = 0,94$; $p < 0,001$; $r = 0,81$; $p < 0,001$, respectivamente), sendo a primeira relação mais significativa positivamente na região de médio e baixo curso, e a segunda relação mais forte de forma positiva na região de médio curso. Esses resultados indicam a forte influência desses indicadores no ISH, sobretudo nas regiões de baixo e médio curso, pois estas apresentaram maior conservação da cobertura vegetal.

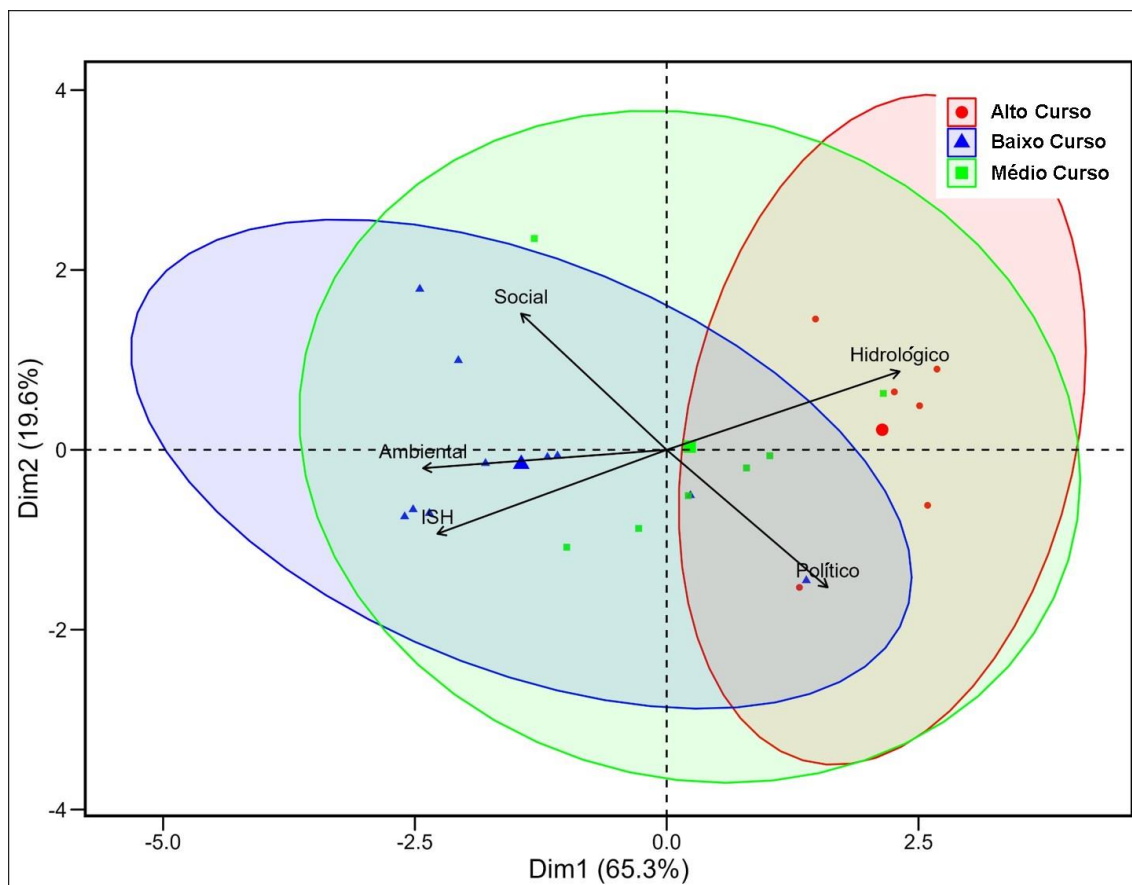
O Indicador Ambiental e Político apresentou uma correlação significativa ($r = 0,63$; $p < 0,01$), mas negativa, isso pode ser explicado por exemplo, nas áreas de baixo curso, onde a maioria dos municípios que compõe essa região apresentaram baixos valores de indicadores políticos, apesar de apresentaram valores mais altos do Indicador Hidrológico e Ambiental influenciados principalmente pelas UC's presentes nessa região. A região de alto curso apesar de apresentaram valores mais alto de organização política, mas é a região da bacia mais degradada, apresentando valores baixos de integridade hidrológica e ambiental.

Outra correlação significativa foi o ISH com o indicador Social ($r = 0,44$; $p < 0,05$), apesar de aparecer mais fraca que as demais, este resultado ressalta a importância do

progresso social como uma das formas de desenvolvimento sustentável, estando atrelado diretamente ao equilíbrio dos sistemas socioecológicos da bacia, sobretudo nas regiões de baixo curso que apresentaram maiores valores (Marques *et al.*, 2022).

A análise da ACP (Dim1 e Dim2) apresentou uma explicação de 65,3% no primeiro eixo e 19,6% no segundo eixo (Figura 27). Portanto, apresentou resultados satisfatórios na explicação dos eixos e suas afinidades entre as variáveis e a compartimentação da bacia, sobretudo no primeiro eixo, na qual os pesos das variáveis foram considerados de acordo com modelo de broken-stick para determinar o critério da seleção do primeiro eixo (Cunha; Montag; Juen, 2015).

Figura 27- ACP dos indicadores e do ISH sobre a compartimentação da bacia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A explicação das variáveis nos eixos mostra que apenas a explicação do primeiro eixo foi a mais considerada (Tabela 10). Na qual apresenta resultados positivos para as variáveis Hidrológica e Política, e negativa para as variáveis Ambiental, Social e ISH.

Tabela 10- Variáveis selecionadas sobre a compartimentação da bacia e sua correlação com o primeiro eixo da ACP.

Variável	Eixo 1	Eixo 2
Hidrológico	0,91	0,34
Ambiental	-0,95	-0,08
Social	-0,57	0,60
Político	0,63	-0,60
ISH	-0,90	-0,37
Autovalor	3,27	0,98
Broken-Stick	2,28	1,28
%Explicação	65,33	19,59
%Explicação Acumulada		84,92

Fonte: Elaborado pelo autor.

A região de alto curso apresentou uma maior associação com os indicadores Hidrológico e Político, sendo de forma positiva no primeiro eixo e negativa com indicador Político no segundo eixo, sendo esta última apresentando uma relação negativa menos significativa. Isso se deve aos valores altos do *Blueprint* representarem degradação nesta região, bem como esta mesma apresentar valores altos de indicadores políticos em decorrência da gestão dos municípios que compõe esta porção da bacia.

A região de médio curso apresentou um comportamento com associações com todas variáveis, oscilando em relações positivas e negativas, mas principalmente com maior afinidade entre o ISH e o indicador Ambiental. Esta relação pode estar associada pela a região de médio curso apresentar valores intermediários de sustentabilidade hídrica, enquanto apresenta baixos valores de cobertura vegetal, além também de valores baixos do Indicador Social e levemente baixo do Indicador Político no segundo eixo.

A região de baixo curso apresentou maior associação com o ISH e os indicadores Social, Político e Ambiental, sendo de forma negativa com o Ambiental, Social e ISH. Portanto, isso é influenciado pelos valores intermediários de sustentabilidade hídrica e pelos valores relativamente baixos do indicador Social, além também da cobertura vegetal.

No que concerne o comportamento negativo do indicador Ambiental em toda a compartimentação da bacia. Nos dois eixos apresentou também valores mais próximos de zero, isso pode estar associado por apresentar pouca variação em toda a bacia, possuindo unidades hídricas que apresentam um valor mínimo de 22,56% de cobertura

vegetal e a máxima com 74,14% de cobertura vegetal, sendo a maioria das unidades hídricas apresentando baixa cobertura vegetal, enfatizando a necessidade de restauração das áreas verdes da bacia.

O indicador Político apesar de apresentar uma associação positiva mais significativa no primeiro eixo, porém no segundo eixo apresentou uma relação negativa nas três porções da compartimentação da bacia. Tal fato, decorre da necessidade de avanços na questão de gestão da bacia, na qual essa é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento dos demais indicadores e da sustentabilidade hídrica, bem como contribuindo para um equilíbrio maior dos sistemas socioecológicos.

Os resultados da ACP e da correlação de Spearman, auxiliam na compreensão de como está o estado atual da bacia, considerando os indicadores da Dimensão HELP e do ISH na compartimentação da BHRM, e como elas influenciam nos sistemas socioecológicos da bacia (Tabela 11).

Tabela 11- Síntese dos resultados encontrados da dimensão HELP e do ISH nos sistemas socioecológicos da bacia.

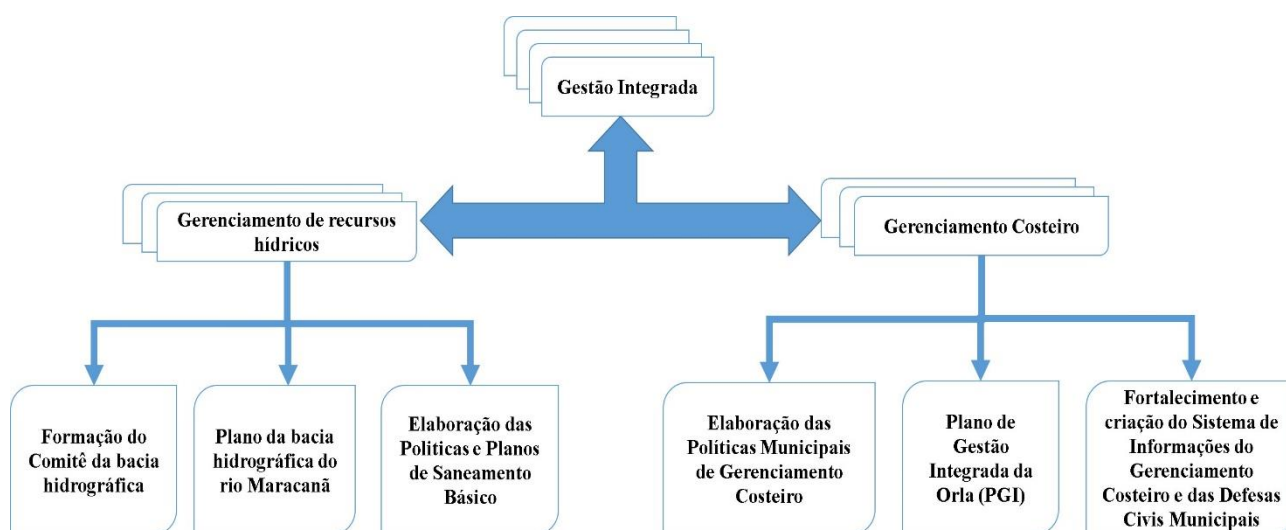
Compartimentação	Hidrológico	Ambiental	Social	Político	ISH
Baixo Curso	Apresenta maioria de valores de maior integridade ambiental	Alta porcentagens de cobertura vegetal em decorrência das UC's	Valores baixos dos indicadores sociais: IDHM e IPS.	Valores baixos de indicadores políticos sobretudo na PEGC.	Valores intermediários, com necessidade de melhorias nos indicadores políticos e sociais
Médio Curso	Apresenta maioria de valores de integridade intermediária, e necessidade de restauração ambiental	Média a baixa porcentagens de cobertura vegetal	Valores baixos de indicadores sociais: IDHM e IPS.	Valores de baixo a médio de indicadores políticos	Valores intermediários, com necessidade de melhorias nos indicadores políticos, sociais, hidrológicos e ambientais
Alto Curso	Apresenta maioria de valores de degradação ambiental e alta necessidade restauração ambiental	Baixa porcentagens de cobertura vegetal	Valores baixos de indicadores sociais: IDHM e IPS.	Apresenta valores de baixo, médio e alto de indicadores políticos	Valores intermediários e baixos, com necessidade de melhorias nos indicadores sociais, hidrológicos e ambientais

Fonte: Elaborado pelo autor.

A síntese auxilia na compreensão de melhorias dos indicadores, ressaltando sobretudo para o indicador Social, pois os valores baixos demonstram o processo histórico-social da Amazônia, na qual a falta de serviços básicos e a desigualdade social constituem obstáculos para o desenvolvimento da região (Ferreira; Lima; Corrêa, 2020). O indicador Político elenca a capacidade de gestão dos municípios, no entanto são necessários avanços, sobretudo na região de baixo curso, como na criação de leis e políticas públicas que visem à proteção dos recursos hídricos integrados ao gerenciamento costeiro, e estimulem a regulação dos serviços de saneamento básico, garantindo sua aplicabilidade, geralmente causada por falta de gestão e fiscalização dos órgãos públicos competentes (Silva *et al.*, 2021).

A região de baixo curso apresenta particularidades quanto a necessidade da gestão costeira, visando uma gestão de recursos naturais e de riscos e desastres, sendo baseadas no fortalecimento e criação dos instrumentos da PNRH e do PERH/PA no âmbito da gestão de recursos hídricos, e da PNGC II e PEGC/PA no âmbito da gestão costeira integrada. A Figura 28 destaca os instrumentos e ações de fortalecimento para a melhoria da gestão da BHRM de forma integrada.

Figura 28- Fluxograma de medidas e ações a serem tomadas relacionadas à gestão de recursos hídricos e ao gerenciamento costeiro integrado na BHRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A gestão dos recursos hídricos na BHRM, assume papel fundamental por parte dos municípios, principalmente pelo fomento à criação das políticas e planos de

saneamento básico, visto que apenas Capanema e Castanhal apresentaram políticas e planos municipais de saneamento, e Salinas, Peixe-Boi e São Francisco do Pará apresentaram apenas políticas municipais de saneamento. Na elaboração das políticas municipais de saneamento é prevista na PERH/PA a integração da gestão de recursos hídricos locais, uso, ocupação e conservação do solo, e do meio ambiente com as políticas federais e estaduais de recursos hídricos (Pará, 2001).

O comitê de bacia hidrográfica é uma etapa essencial para atender ao instrumento da criação do plano da bacia hidrográfica, bem como na articulação política e fiscalização do uso dos recursos hídricos na bacia. É necessário também o papel dos municípios na gestão sustentável de suas águas, na qual durante as elaborações dos planos de bacias hidrográfica devem ser consideradas os planos diretores municipais e o zoneamento municipal, para garantir uma gestão hídrica local que seja ambientalmente sustentável, influenciando na qualidade e quantidade hídrica no âmbito das bacias hidrográficas (Pizella, 2015).

Santos *et al.* (2020) destacam que os desafios para a implantação e elaboração dos planos de bacias hidrográficas são: estratégias de planejamento que engajem a participação da sociedade civil em todas as etapas da construção do plano e nas discussões no âmbito do comitê de bacias; e direcionamento de esforços para superação da abordagem tecnicista, na qual não reconhece as limitações do planejamento como ferramenta capaz de prever e controlar o futuro, e na priorização de medidas previstas em seu plano de ação; além do envolvimento da articulação e organização com as várias instituições no planejamento das diversas políticas públicas setoriais.

Outro aspecto importante a ser abordado na gestão dos recursos hídricos é a integração com a ZIC, nas bacias exorréicas. Nesta zona, os instrumentos de gestão de recursos hídricos e ambiental devem ser aplicados considerando as consequências geradas para os estuários e zonas costeiras, especialmente nos processos licenciamento ambiental e outorga (Loitzenbauer; Mendes, 2016). No caso da outorga, é necessário observar a dinâmica da salinidade (relação entre a variação na descarga de água doce e a intrusão salina no estuário), ou seja, quanto de água pode ser retirado da bacia sem que haja aumento significativo da intrusão salina, e no caso do licenciamento ambiental, cujo empreendimentos de considerável impacto ambiental, que necessitem de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para sua instalação, deverão observar as implicações deste na zona costeira em toda a ZIC (Loitzenbauer; Mendes, 2016).

No que concerne o gerenciamento costeiro da BHRM, que envolveu o ZIC definida na PEGC/PA e na PGNC II, apenas Salinópolis apresentou política municipal de gerenciamento costeiro. Já em relação aos municípios que possuem praias marítimas e o Plano de Gestão Integrada da Orla (PGI), que se refere a adesão ao TAGP visando o Projeto Orla, apenas Maracanã e São João de Pirabas apresentaram solicitação de adesão ao TAGP, encontrando-se em análise técnica, e o município de Salinópolis apresentou indeferimento na sua solicitação de adesão, visto que tais informações são oriundas de atualizações até a data de 19/10/2023 (Brasil, 2024).

O Projeto Orla consiste em uma ação do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão no âmbito da sua Secretaria do Patrimônio da União (SPU), afim de promover a gestão sustentável e o ordenamento territorial e ambiental dos espaços costeiros através de atuação articulada e compartilhada entre as esferas de governo e sociedade civil, buscando responder desafios como reflexos da fragilidade dos ecossistemas costeiros, crescimento desordenado e irregular, aumento dos processos erosivos e contaminantes, e avanço do nível do mar (Semas, 2020).

O Sistema de Informação de Gerenciamento Costeiro (SIGERCO) pode ser utilizado como monitoramento dos ecossistemas costeiros e marinhos, além de auxiliar na prevenção de riscos e desastres, em virtude do aumento do nível do mar e erosão costeira, em escala local, regional e nacional. Apesar de nunca ter sido implementado o SIGERCO de maneira satisfatória no âmbito do PNGC, mas é importante o desenvolvimento no âmbito da PEGC/PA, na qual poderá subsidiar as informações e contribuir no monitoramento para o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC) e para o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC), sendo estes instrumentos ainda não desenvolvidos para o estado do Pará (Nicolodi *et al.*, 2018; Scherer; Nicolodi, 2021; Diederichsen *et al.*, 2024).

Outro papel fundamental que auxilia na execução da gestão costeira e de riscos e desastres, são as Coordenadorias Municipais de Defesas Civas (COMDEC), na qual dos municípios inseridos na ZIC apenas Maracanã, Santarém-Novo e São João de Pirabas apresentaram COMDEC's e suas respectivas legislações de criação; e das outras compartimentações os municípios de Igarapé-Açu, Peixe-Boi, São Miguel do Guamá, Bonito, Santa Maria do Pará e Castanhal. As COMDEC's desempenham papel crucial na gestão de riscos e desastres, com ações preventivas, assistenciais, e em alguns casos de reconstrução, além também no monitoramento e comunicação com as comunidades costeiras sobre os perigos oceânicos (Diederichsen *et al.*, 2024).

A análise integrada utilizando o ISH com ênfase na gestão costeira, visou responder a pergunta e hipóteses da pesquisa, pelas quais de fato existe pressão antrópica que afetam os sistemas socioecológicos, no que diz respeito também a governança da água e dos seus instrumentos baseados na PNRH e na PERH/PA. Estes resultados são bem mais perceptíveis e mais impactante na região de médio e alto curso, apesar de uma média geral, o ISH apresentar média sustentabilidade hídrica. Esses insights podem subsidiar na tomada de decisão de políticas públicas e junto com sociedade civil buscar mecanismos de melhorias na gestão hídrica da BHRM. Além disso, os resultados estão em consonância com outras pesquisas em bacias da região, onde foi verificado impactos do uso e cobertura do terra, disponibilidade e balanço hídrico, e ISH intermediários, o que enfatiza o comprometimento da melhoria da gestão e governança hídrica da BHRM (Tamasauskas *et al.*, 2016; Tamasauskas C.; Tamasauskas P., 2017; Silva *et al.*, 2021; Raiol *et al.*, 2022).

8 CONCLUSÃO

A BHRM apresenta predominância da classe degradação (34,51%) e da classe Integridade Intermediária (27,73%), principalmente na região de médio e alto curso, e na região de baixo curso apresenta 15,07% de Integridade ambiental, sendo influenciado pelas UC's, além também da chuva como parte essencial na recarga hídrica. Esses resultados do *Blueprint* estão diretamente correlacionados com o Indicador Ambiental, pois as classes de cobertura vegetal desempenharam maior grau de importância nessas análises.

Os baixos indicadores sociais são reflexos da carência de serviços básicos providos pelo estado na região norte do Brasil, sobretudo no estado do Pará, onde são necessários avanços e progresso social vinculado ao desenvolvimento sustentável. A capacidade política também é reflexo da ausência de participação de governantes locais e regionais com a sociedade civil, na qual é necessária uma melhor governança dos recursos naturais em prol da sociedade, sobretudo no que diz respeito a gestão dos recursos hídricos.

O ISH apresentou uma média geral para a bacia considerada intermediária sustentabilidade hídrica (0,63), na qual a região de alto curso apresentou baixa sustentabilidade hídrica, respondendo à 20% de toda a bacia. O indicador Ambiental e o Político foram os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH.

A pesquisa demonstrou a importância em buscar melhorar todos os indicadores em todas as compartimentações da bacia, sobretudo no médio e alto curso. No contexto geral da bacia, os indicadores sociais e políticos são os que mais influenciam nos sistemas socioecológicos, sendo os mais pertinentes nos demais aspectos da dimensão HELP. Estas abordagens partem do fortalecimento dos instrumentos, objetivos e diretrizes principalmente da PERH/PA e da PEGC/PA, visando o uso racional dos recursos hídricos, e auxiliando também na gestão de riscos e desastres na ZIC e em toda a bacia e áreas de influência, afim de melhorar a governança da água na BHRM.

Diante disso, a análise integrada utilizando o ISH, constitui de uma ferramenta metodológica essencial para mapear e diagnosticar problemas, por meio de uma abordagem sistêmica, contribuindo para subsídios na tomada de decisão de políticas

públicas e sociedade civil organizada no que concerne a gestão dos recursos hídricos da BHRM.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. K.; ALMEIDA, I. K.; GUARIENTI, J. A.; FINCK, L. F.; GABAS, S. G. Time of Concentration Model for Non-Urban Tropical Basins Based on Physiographic Characteristics and Observed Rainfall Responses. **Water Resources Management**, v. 37, n. 14, p. 5493-5534, 2023.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas**. 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>. Acesso em 08 de Agosto, 2022.
- ANJOS, L. J.; SOUZA, E. B.; AMARAL, C. T.; IGAWA, T. K.; TOLEDO, P. M. Future projections for terrestrial biomes indicate widespread warming and moisture reduction in forests up to 2100 in South America. **Global Ecology and Conservation**, v. 25, p. e01441, 2021.
- ARABAMERI, A.; TIEFENBACHER, J. P.; BLASCHKE, T.; PRADHAN, B.; TIEN BUI, D. Morphometric analysis for soil erosion susceptibility mapping using novel GIS-based ensemble model. **Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 874, 2020.
- BECKNELL, J. M.; VARGAS G, G.; PÉREZ-AVILES, D.; MEDVIGY, D.; POWERS, J. S. Above-ground net primary productivity in regenerating seasonally dry tropical forest: Contributions of rainfall, forest age and soil. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 11, p. 3903-3915, 2021.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Petrópolis: Vozes, 2008.
- BHARDWAJ, P.; SHARMA, T.; SINGH, O. Impact evaluation of watershed management programmes in Siwalik Himalayas of Haryana, India. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, p. 5251-5276, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00812-z>.
- BRANCHI, B. A. Watershed Sustainability and Composite Index: Application and Challenges. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2022.
- BRANDÃO, D. O.; BARATA, L. E. S.; NOBRE, C. A. The effects of environmental changes on plant species and forest dependent communities in the Amazon region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 466, 2022.
- BRASIL. **Decreto Federal n. 5.300**, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília,DF, 2004.
- BRASIL. **Lei Federal n. 7.661**, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília,DF, 1988.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília,DF, 1997.

BRASIL. Ministério da Economia. **TAGP e Normativos**. Modelo do Termo de Adesão à Gestão das Praias – TAGP. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/arquivos-antigos-privados/tagp-e-normativos/tagp-e-normativos>. Acesso em: 09 Fev. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Séries históricas**. 2021. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015.

BU, J.; LI, C., WANG, X.; ZHANG, Y.; YANG, Z. Assessment and prediction of the water ecological carrying capacity in Changzhou city, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123988, 2020.

CAMARGO, Arley. PCAtest: testing the statistical significance of principal component analysis in R. **PeerJ**, v. 10, p. e12967, 2022.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo, Cultrix, 1998.

CATANO, N.; MARCHAND, M.; STALEY, S.; WANG, Y. **Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River**. Commission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River. [S.l.]: COMCURE, 2009.

CAVALCANTE, R. B. L.; FERREIRA, D. B. S.; PONTES, P. R. M., TEDESCHI, R. G.; COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, p. 104879, 2020.

CHAVEZ, H. M. L.; ALIPAZ, S. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: The watershed sustainability index. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 883–895, May 2007.

CIRILO, B. B.; ALMEIDA, O. T. Os limites à gestão de recursos hídricos no Estado do Pará: uma análise técnica. **Desenvolvimento em Questão**, v. 20, n. 58, p. e11542-e11542, 2022.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR-CIRM. **Resolução 05 de 1997**. Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II). Brasília: DOU de 1997.

COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR-CIRM. **Institucional**. 2024. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/>. Acessado em 04/02/2024.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. ed. 2ª. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015, 346p.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identificários. *In*: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGELVASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. A. **Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. p.19-58.
- COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: Current and future challenges and research directions. **Water Resources Research**, v. 51, n. 6, p. 4823-4839, 2015.
- COSTA E SILVA, D. D.; CHAVES, H. M. L.; CURI, W. F.; BARACUHY, J. G. V.; CUNHA, T. P. S. Application of the watershed sustainability index in the Piranhas-Açu watershed. **Water Policy**, v. 22, n. 4, p. 622-640, 2020.
- CRIVELARI-COSTA, P. M.; LIMA, M.; LA SCALA JR, N.; ROSSI, F. S.; DELLA-SILVA, J. L.; DALAGNOL, R.; SILVA JUNIOR, C. A. D. Changes in Carbon Dioxide Balance Associated with Land Use and Land Cover in Brazilian Legal Amazon Based on Remotely Sensed Imagery. **Remote Sensing**, v. 15, n. 11, p. 2780, 2023.
- CUNHA, E. J.; MONTAG, L. F. A.; JUEN, L. Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 422-429, 2015.
- DIEDERICHSEN, S. D.; SARDINHA, G. D.; SCHERER, M. E. G.; NICOLODI, J. L. Opportunities to overcome the Ocean Decade Challenges in Brazil's ocean and coastal governance system. **Ocean & Coastal Management**, v. 247, p. 106907, 2024.
- ELFITHRI, R.; MOKHTAR, M.; ABDULLAH, M. P.; TAHA, M. R. TORIMAN, M. E.; YASIN, R. M.; GASIM, M. B. Watershed Sustainability Index for Langat UNESCO HELP River Basin, Malaysia. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 3.14, p. 187-190, 2018.
- ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; MARENGO, J. A.; SEGURA, H. Contrasting North–South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). **Climate Dynamics**, v. 52, n. 9-10, p. 5413-5430, 2019.
- ESPIRITO-SANTO, C. M.; SZLAFSZTEIN, C. F. Gestão de risco de desastres em planos diretores de três municípios da zona costeira do estado do Pará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 16, n. 2, p. 223-230, 2016.
- FASSONI-ANDRADE, A. C.; FLEISCHMANN, A. S.; PAPA, F.; PAIVA, R. C. D. D., WONGCHUIG, S., MELACK, J. M.; PELLET, V. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 4, p. e2020RG000728, 2021.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO PARÁ- FAEPA. **Nossa Realidade: atual situação dos municípios paraenses**. 1. ed. Belém/PA: FAEPA, 2023. 192p.

FERREIRA, D. B. S.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V. Identificação de extremos de precipitação em municípios do Estado do Pará e sua relação com os modos climáticos atuantes nos oceanos Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M.; CORRÊA, J. A. M. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA)– Eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**, v. 263, p. 110354, 2020.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101-101, 1998.

FREITAS, M. R.; MATIAS, S. V. B. G.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N. SISTEMA SÓCIO-ECOLÓGICO, EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DA NATUREZA. **Educação Ambiental em Ação**, [s. l.], v. 21, ed. 85, Dezembro/Fevereiro 2024. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1623>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. **Water for sustainable Food and Agriculture**: a report produced for the G20 Presidency of Germany Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, <https://fapespa.pa.gov.br/sistemas/anuario2023/017>, 33 p.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS- FAPESPA. **Anuário estatístico do Pará 2023**. Disponível em: <https://fapespa.pa.gov.br/sistemas/anuario2023/>. Acesso em: 13 Jan. 2024.

GARCIA, M. M.; HERTZ, T.; SCHLÜTER, M. Towards a process epistemology for the analysis of social-ecological system. **Environmental Values**, v. 29, n. 2, p. 221-239, 2020.

GARCÍA-GALAR, A.; LAMELAS, M. T.; DOMINGO, D. Assessment of Oak Groves Conservation Statuses in Natura 2000 Sacs with Single Photon Lidar and Sentinel-2 Data. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 710, 2023.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. Análise da Multidimensionalidade dos Conceitos de Bacia Hidrográfica. **GEOgraphia**, v. 23, n. 51, 2021.

HAMMAM, A. A.; MOHAMED, W. S.; SAYED, S. E. E.; KUCHER, D. E.; MOHAMED, E. S. Assessment of soil contamination using gis and multi-variate analysis: A case study in El-Minia Governorate, Egypt. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1197, 2022.

HEUVEL, E. V. D.; ZHAN, Z. Myths about linear and monotonic associations: Pearson's r , Spearman's ρ , and Kendall's τ . **The American Statistician**, v. 76, n. 1, p. 44-52, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Geociências**. Bases Cartográficas contínuas. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versa_o2021/. Acesso em: 08 Ago. 2022.

INSTITUTO DO HOMEM E DO MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA- IMAZON. **Índice de progresso social Amazônia (IPS Amazônia)**. 2023. Disponível em: www.ipsamazonia.org.br. Acesso em: 08 Jan. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS- INPE. **Bioma Amazônia-TerraClass**. TerraBrasilis catalogue. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/f49a47f8-12ae-4052-8e0d-2e581458dc69/>. Acesso em: 01 jul. 2023.

IORIS, A. A. R. Passado e presente da Política de Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Finisterra**, v.82, p.87 – 99, 2006.

KAGAYA, S.; WADA, T. The application of environmental governance for sustainable watershed-based management. **Asia-Pacific Journal of Regional Science**, v. 5, p. 643-671, 2021. <https://doi.org/10.1007/s41685-020-00185-1>.

KATUSIIME, J.; SCHÜTT, B. Linking land tenure and integrated watershed management: a review. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1667, 2020.

KUMAR, A.; SINGH, S.; PRAMANIK, M.; CHAUDHARY, S.; MAURYA, A. K.; KUMAR, M. Watershed prioritization for soil erosion mapping in the Lesser Himalayan Indian basin using PCA and WSA methods in conjunction with morphometric parameters and GIS-based approach. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-39, 2022.

LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca - Campinas/SP**. 1995. 154f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro/SP, 1995.

LIMA, D. F.; ARAÚJO, J. M.; RIBEIRO, M. M. R. Governança da água em município de pequeno porte: análise baseada no sistema socioecológico e nos princípios de Ostrom. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 919-928, 2022.

LINKE, S. *et al.* Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. **Sci Data**, v.6, e283, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6>

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. Integração da gestão de recursos hídricos e da zona costeira em Santa Catarina: a zona de influência costeira nas bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC. **RBRH**, v. 21, p. 466-477, 2016.

LOPES, L. G. N.; SILVA, A. G.; GOURLART, A. C. O. A teoria geral do sistema e suas aplicações nas ciências naturais. **Natureza** [online], v. 13, n. 1, p. 1-5, 2015.

MARQUES, A. R.; TONIOLO, M. A.; LAHSEN, M.; PULICE, S.; BRANCO, E. A.; ALVES, D. S. Governança da água no Vale do Paraíba Paulista: rede de atores e sistemas socioecológicos. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, e01381, 2022.

MAYNARD, I. F. N.; CRUZ, M. A. S.; GOMES, L. J. Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 2, p. 201-220, 2017.

MCGINNIS, M.D.; OSTROM, E.A. Framework for analyzing, comparing, and diagnosing social-ecological systems social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, p. 30, 2014. <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>.

- MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R.de; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, e 110879, 2020.
- MENEZES, D. F. N.; MORAES, G. L. Sistemas socioecológicos e subsistema econômico—construindo novas relações para promover a sustentabilidade e inclusão social. Espaço e Economia. **Revista Brasileira de Geografia Econômica**, v. 25, n. 25, 2023. <https://doi.org/10.4000/espacoeconomia.24085>.
- MENG, X.; WU, L. Prediction of per capita water consumption for 31 regions in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 29253-29264, 2021.
- MONTEIRO-JÚNIOR, C. S.; JUEN, L.; HAMADA, N. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. **Ecological indicators**, v. 48, p. 303-311, 2015.
- MUHAMMAD, I.; WANG, J.; SAINJU, U. M.; ZHANG, S.; ZHAO, F.; KHAN, A. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: A meta-analysis. **Geoderma**, v. 381, p. 114696, 2021.
- MURTAGH, F.; LEGENDRE, P. Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement Ward's criterion?. **Journal of Classification**, v. 31, p. 274-295, 2014.
- NICOLODI, J. L.; ASMUS, M.; TURRA, A.; POLETTE, M. Avaliação dos Zoneamentos Ecológico-Econômicos Costeiros (ZEEC) do Brasil: proposta metodológica. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v44i0.54865>.
- NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão integrada de bacias hidrográficas e zonas costeiras no Brasil: implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009.
- 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.
- NOVAES, R. **Redes de Políticas Públicas e Gestão de Recursos Hídricos; perspectivas e contribuições teórico-metodológicas da abordagem de “policy networks”**. 2004. Disponível em: https://anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT03/ricardo_novaes.pdf. Acesso em: 01 dez. 2023.
- NÚÑEZ-RAZO, I.; ANDA, J.; BARRIOS-PIÑA, H.; OLVERA-VARGAS, L. A.; GARCÍA-RUIZ-GARCÍA, M.; HERNÁNDEZ-MORALES, S. Development of a watershed sustainability index for the Santiago river basin, Mexico. **Sustainability**, v. 15, n. 10, e 8428, 2023.
- OSTROM, E. A diagnostic approach for going beyond panaceas. Proceedings of the National **Academy of Sciences**, v. 104, n. 39, p. 15181-15187, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>.

OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>.

OSTROM, E. **Governing the commons: the evolution of institutions for a collective action** (4 Edition), Cambridge/UK: Cambridge University Press, 1990.

PARÁ. **Lei Estadual nº 9.604/2020**, de 25 de Maio de 2020. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA). DOE Nº 34234, DE 27/05/2020. 2020. Disponível em: <<https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/6556.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2024.

PARÁ. **Lei Ordinária nº Nº 6.381**, de 25 de Julho de 2001, de 25 de julho de 2001. Dispõe Sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 25 jul. 2001. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/517.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Plano estadual de recursos hídricos do Pará**. 1. ed. Belém/PA: SEMAS. 83f. 2021.

PETRY, P.; HIGGINS, J.; CARNEIRO, A.; RODRIGUES, S.; HARRISON, D.; BARA, P.; VALE, R.; GARCIA, E. **Conservação da bacia do Tapajós: uma visão de sustentabilidade**. 1. ed. São Paulo/SP: The Nature Conservancy, 2019. 21 p.

PIZELLA, D. G. A relação entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográficas na gestão hídrica. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 635-645, 2015.

PNUD. Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento. **Atlas do desenvolvimento humano**. 2022. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 08 Fev. 2023.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SOUZA, C. A. A.; ARAUJO JÚNIOR, G. D. N.; SOUZA, L. S. B. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, e104457, 2020.

RAIOL, L. L.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, D. C. R.; HAYASHI, S. N. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2354-2370, 2022.

REGO, A. K. C.; KATO, O. R. Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 20, n. 3, 2018.

ROCHA, N. C. V.; LIMA, A. M. M. Water sustainability of the Guamá river basin, Eastern Amazonia/Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 130-148, 2020.

ROSIER, I.; DIELS, J.; SOMERS, B.; VAN ORSHOVEN, J. The impact of vegetated landscape elements on runoff in a small agricultural watershed: A modelling study. **Journal of Hydrology**, v. 617, p. 129144, 2023.

SANTOS, D.; LIMA, M.; WILM, M.; SEIFER, P.; VERÍSSIMO, B. **Índice de Progresso Social na Amazônia Brasileira: resumo executivo**. 4ed. Belém, PA: IMAZON, 2023. 83 p. ISBN 978-65-89617-17-4.

SANTOS, L. B.; BARROS, M. N. R.; COELHO, A.; FENZL, N. Análise da dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1935-1952, 2020.

SANTOS, M. R. S.; VITORINO, M. I.; PIMENTEL, M. A. S. Contribuição da precipitação na produção agropecuária no Nordeste paraense: um estudo na Amazônia Brasileira. **Revista Espacios**, v. 38, n. 23, p.1-10, 2017.

SANTOS, S. M.; SOUZA, M.; BIRCOL, G. A. C.; UENO, H. Planos de Bacia e seus desafios: o caso da bacia hidrográfica do Alto Tietê-SP. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. e02342, 2020.

SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L.; GANDRA, T. B. R. Avaliação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro no Brasil: União, Estados e Municípios. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 44, 2018.

SCHERER, M. E. G.; NICOLODI, J. L. Interações Terra-Mar: Contribuições do Programa Brasileiro de Gerenciamento Costeiro para o Planejamento Espacial Marinho. **Revista Costas**, v. esp., 2: 253-272, 2021. doi: 10.26359/costas.e1221

SCHMITZ, C. M.; NICOLODI, J. L.; GRUBER, N. L. S. Terrenos de marinha no Brasil: conceitos e evolução histórica no contexto do gerenciamento costeiro integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, p. e190816-e190816, 2023.

SCHUSSEL, Zulma; NASCIMENTO NETO, Paulo. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, p. 137-152, 2015.

SEMAS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Gerenciamento Costeiro no Estado do Pará: orientações para o ordenamento ambiental**. 1. Ed. Belém/PA: SEMAS. 30f. 2020.

SERRÃO, E. A. O.; SILVA, M. T.; FERREIRA, T. R.; ATAIDE, L. C. P.; SANTOS, C. A.; LIMA, A. M. M.; GOMES, D. J. C. Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. **International Journal of Sediment Research**, v. 37, n. 1, p. 54-69, 2022.

SILVA, A. O.; SILVA, A. O.; SANTOS, D. C. R.; ROSÁRIO, I. C. B.; BARATA, H. S.; RAIOL, L. L. Da tradição a técnica: perspectivas e realidades da agricultura de derruba e queima na Amazônia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e38310111799-e38310111799, 2021.

SILVA, F. L.; FUSHITA, Â. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J. C. T. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021.

SILVA, J. C. C.; LIMA, A. M. M; HOLANDA, B. S.; ANDRADE MOREIRA, F. D. S.; COSTA CAVALCANTE, J. Sustainability index in the municipal district of the Marapanim river watershed (Pará/Brazil). **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 1-23, 2021.

SILVA, J.; FERNANDES, V.; LIMONT, M.; DZIEDZIC, M.; ANDREOLI, C. V.; RAUEN, W. B. Water sustainability assessment from the perspective of sustainable development capitals: Conceptual model and index based on literature review. **Journal of Environmental Management**, v. 254, p. 109750, 2020.

SILVA JÚNIOR, M. B.; SIMÕES, A. V.; MENDES, R. L. R. FARIAS, M. H. C. S. A política de recursos hídricos no contexto da institucionalização do comitê da bacia hidrográfica do rio Marapanim no Pará. **Para Onde!?**, v. 17, n. 1, p. 125-147, 2023.

SILVA NETTO, J. P. S. Panorama da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 241-258, 2022.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS MINERAIS DO ESTADO DO PARÁ- SIMINERAL. **Boletim Industrial Mineral do Pará 2022**. Disponível em: <https://www.simineral.org.br/mineracao#top>. Acesso em: 01. Mar. 2024.

SOUSA, R. B. A beira do rio, a beira estrada e a conformação do território camponês no nordeste Paraense. **Ensaios de Geografia**, v. 4, n. 7, p. 7-25, 2015.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; & NOBRE, C. On the influences of the El Niño, La niña and Atlantic Dipole Paterni on the Amazonian Rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.

SZLAFSZTEIN, C. F. Indefinições e obstáculos no gerenciamento da zona costeira do Estado do Pará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 2, p. 47-58, 2009.

TAMASAUSKAS, C. E. P.; TAMASAUSKAS, P. F. L. F. Mudanças de uso e cobertura da terra e escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Caripi-pa: uma análise a partir das geotecnologias/Changes in land use and cover and runoff in the Caripi-pa river basin: an analysis based on geotechnologies. **Revista GeoAmazônia**, v. 4, n. 08, p. 153-173, 2017.

TAMASAUSKAS, P. F. L. F.; SOUZA, L. F. P.; LIMA, A. M. M.; SILVA, M. A. P; ROCHA, E. J. P. Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 172-186, 2016.

TERRACLASS. **Projeto TerraClass**. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportall-aml/>. Acesso em: 17. Jan. 2024.

TORRES-AMARAL, C.; ANJOS, L. J. S. D.; VIEIRA, I. C. G.; SOUZA, E. B. The climatic risk of Amazonian protected areas is driven by climate velocity until 2050. **PLoS one**, v. 18, n. 6, e0286457, 2023.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001. 943p.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION-UNESCO. The design and implementation strategy of the HELP initiative. **Technical Documents in Hydrology**. v. 44, 2001. faltou o DOI:

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION- UNESCO. 2 PHI-VII **Documento Técnico N° Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe**. [S.l: s.n.], 2008.

VALE, J. R. B.; BORDALO C. A. L.; FONSECA, L. C. N. Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú, nordeste paraense, entre os anos de 1999 e 2014. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, v. 2, n. 02, 2016. DOI: 10.17553/2359-0831/ihgp.v2n2p76-83

VELASTEGUI-MONTOYA, A. D. V.; LIMA, A.M.M.; ADAMI, M. Multitemporal analysis of deforestation in response to the construction of the Tucuruí Dam. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 10, e 583, 2020.

VELASTEGUI-MONTOYA, A.; LIMA, A.; HERRERA-MATAMOROS, V. What Is the Socioeconomic Impact of the Tucuruí Dam on Its Surrounding Municipalities?. **Sustainability**, v. 14, n. 3, e 1630, 2022.

WANG, G.; MANG, S.; CAI, H.; LIU, S.; ZHANG, Z.; WANG, L.; INNES, J. L. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. **Journal of Forestry Research**, v. 27, p. 967-994, 2016.

WANG, X.; ZHANG, S.; TANG, X.; GAO, C. Research on water resources environmental carrying capacity (WRECC) based on support-pressure coupling theory: A case study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. **Journal of Environmental Management**, v. 320, e 115805, 2022.

ZABLOTSKI. **YuzaR-Blog**: R demo. Correlation Matrix. Danger or opportunity?. April, 2022. Disponível em: <https://yuzar-blog.netlify.app/posts/2022-01-05-correlationmatrixinr/>. Acesso em: 15. Out. 2023.

APÊNDICE A- Scripts das análises estatística realizada no R

```
#####Análise estatística dos Blueprints#####  
  
#####Teste de Kruskal-Wallis#####  
#Instale e carregue esse pacote  
library(FSA)  
  
#importe o arquivo Blueprint (o arquivo tem que estar com apenas duas colunas sendo  
uma de valores do Blueprint e outra com as categorias de cada Blueprint: anual, chuvoso  
e seco)  
  
attach(dados_BP)  
  
#Realizar Kruskal-Wallis Test  
kruskal.test(values ~ Categoria, data = dados_BP)  
  
#Teste de post-hoc  
# Teste de Dunn com ajuste do valor de p  
#Realizar Dunn's Test com correção de Bonferroni para p-values  
dunnTest(values ~ Categoria,  
          data=dados_BP,  
          method="bonferroni")  
  
#Shapiro-wilk Test #Deve se analisar a normalidade dos dados (todas as variáveis)  
  
attach(calculo_blueprint_ajustado)
```

```
shapiro.test(FO)
shapiro.test(BS)
shapiro.test(CL)
shapiro.test(AR)
shapiro.test(TR)
shapiro.test(TD)
shapiro.test(ABP)
shapiro.test(RBP)
shapiro.test(DBP)
```

###Depois de verificada a não normalidade dos dados. Realizar Teste não-Paramétrico

```
#####Correlação de Spearman#####
#Instale e carregue esses pacotes
library(PerformanceAnalytics)
library(metan)
library(NbClust)

#Importe os arquivos separadamente: BP anual, BP chuvoso, BP seco

#####
library(ggplot2)
library(GGally)
attach(BP_anual_port)
```

Para evitar o uso de 'attach', vamos apenas usar o nome do conjunto de dados diretamente

```
ggpairs(data = BP_anual_port,
        columns = c("CV", "SE", "AP", "PA", "BPA"),
        title = "",
        upper = list(continuous = wrap("cor", method = "spearman", size = 5)),
        lower = list(continuous = wrap("smooth", alpha = 0.5, size = 0.3)),
```

```

        mapping = aes(color = NULL)) # Mapeamento est?tico para a cor est? vazio
;
#####BP seco
    attach(BP_seco_port)

# Para evitar o uso de 'attach', vamos apenas usar o nome do conjunto de dados
diretamente
ggpairs(data = BP_seco_port,
        columns = c("CV", "SE", "AP", "TS", "BPS"),
        title = "",
        upper = list(continuous = wrap("cor", method = "spearman", size = 5)),
        lower = list(continuous = wrap("smooth", alpha = 0.5, size = 0.3)),
        mapping = aes(color = NULL)) # Mapeamento est?tico para a cor est? vazio
;

#####BP chuvoso
    attach(BP_chuv_port)

# Para evitar o uso de 'attach', vamos apenas usar o nome do conjunto de dados
diretamente
ggpairs(data = BP_chuv_port,
        columns = c("CV", "SE", "AP", "TC", "BPC"),
        title = "",
        upper = list(continuous = wrap("cor", method = "spearman", size = 5)),
        lower = list(continuous = wrap("smooth", alpha = 0.5, size = 0.3)),
        mapping = aes(color = NULL)) # Mapeamento est?tico para a cor est? vazio
;

```



```
#####Análise estatística dos indicadores e ISH#####
```

```
###correlação dos dados do ISH/ correlação múltipla agrupada de Spearman###
```

```
#importar os dados
```

```
attach(ISH_corr)
```

```
##Teste de Shapiro-Wilk
```

```
shapiro.test(Hidrologico)
```

```
shapiro.test(Ambiental)
```

```
shapiro.test(Social)
```

```
shapiro.test(Politico)
```

```
shapiro.test(ISH)
```

```
# install.packages("tidyverse")
```

```
library(tidyverse) # for "aes()" & later for "%>%"
```

```
# install.packages("GGally")
```

```
library(GGally)
```

```
ggpairs(ISH_corr,
```

```
  columns = 1:6,
```

```
  aes(colour=Compartimentacao),
```

```
  lower = list(continuous = "smooth"),
```

```
  upper = list(continuous = wrap("cor",
```

```
    method = "spearman"))))
```

```
#####Análise de componentes Principais (PCA) do ISH#####
```

```
#Lembrar de mudar diretório ou indicar o diretório contendo a pasta com as  
planilhas
```

```
#Definir qual o diretório
```

```
setwd(choose.dir())
```

```
#Qual o meu diretório
```

```
getwd()
```

```
#Quais arquivos estão no meu diretório
```

```
dir()
```

```
#Carregando os pacotes necessários para rodar a análise
```

```
library(vegan)
```

```
#Carregando os dados
```

```
tab <- read.table("diss_dados.txt", header = TRUE)
```

```
#Visualizar as seis primeiras linhas dos dados
```

```
head(tab)
```

```
#Estrutura dos dados
```

```
str(tab)
```

```
# Remova valores NA, se necessário
```

```
tab <- na.omit(tab)
```

```
#Separar as variáveis contínuas (num ou int); Variáveis ambientais
```

```
amb <- tab[,-1]
```

amb

#IMPORTANTE - Tratamentos dos dados: Padronizar (1) ou Transformar (2).

JAMAIS os dois!

#(1) Padronizar quando os dados estão em escalas diferentes;

#(2) Transformar (usaremos transformação logarítmica) quando os dados estão na mesma escala, mas com valores discrepantes

#(1)

?decostand

amb <- decostand(amb, method = "standardize") #Unidades de medidas diferentes

(foi realizado este para o estudo)

amb

###OU

#(2)

amb <- log(amb + 1) #Mesma unidade de medida e discrepancia nos valores

#amb

#Iniciando a análise de PCA

?princomp

respca <- princomp(amb, cor = T) #Se os dados foram mensurados em escalas diferentes (nao esquecer de padronizar) usa-se a matriz de correlacao, argumento "cor=T", ou seja, (amb, cor=T). Por outro lado, se os dados estiverem na mesma unidade de medida pode-se usar covariância "cor=F", ou seja, (amb, cor=F)

respca

summary(respca) #Contribuicao dos eixos

#Dados importantes: Calcula o autovalor

autovalor <- as.matrix(eigenvals(respca)) #Calcula os autovalores do teste que eu preciso salvar

autovalor

#write.table(autovalor, "autovalor.txt") #Comando para salvar os autovalores em uma tabela dentro do diretorio estabelecido

```
#Dados importantes: Calcula os scores das amostras
scores <- scores(respca) #Exibe os scores da PC
scores
#write.table(scores, "scores.txt") #Comando para salvar os escores das amostras
dentro do diretorio estabelecido
```

```
#Dados importantes: Calcula o autovetor das variaveis
scores_variaveis <- loadings(respca) #Exibe os autovetores da PCA
scores_variaveis
#write.table(scores_variaveis, "scores_variaveis.txt") #Comando para salvar os
escores das variaveis dentro do diretorio estabelecido
```

```
# Dados importantes: calcula o broken-stick
broken_stick <- bstick(respca) #Calcula os autovalores dos eixos preditos pelo
modelo de Broken Stick para selecao de eixos. So devem ser utilizados os autovalores
dos eixos que forem maiores do que o predito pelo Broken Stick.
broken_stick
#write.table(broken_stick, "broken_stick.txt") #Comando para salvar o broken-
stick dentro do diretorio estabelecido
screepplot(respca, bstick = TRUE, type = "lines") #Representacao visual de Broken
Stick
```

```
eixo <- scores(respca, choices=1:2) #Selecionando os eixos de acordo com o
broken-stick, caso seja mais de um eixo utilizar o comando de intervalo (choices=1:2)
para dois eixos, (choices=1:3) para 3 eixos e assim por diante. Nesse caso o Broken-Stick
foi no primeiro eixo.
```

```
eixo
```

```
#Dados importantes: Calcula os loadings
correlacao <- cor(eixo, amb) #Extraindo a correlacao entre os eixos e as variaveis
correlacao
#write.table(correlacao, "loading.txt") #Comando para salvar os loading dentro
do diretorio estabelecido
```

```

#Criando a tabela final no R
vars <- (respca$sdev^2)/sum(respca$sdev^2)
table1 <- rbind(t(correlacao),
               Autovalor=autovalor[1:2],
               Broken_Stick=broken_stick[1:2],
               `%Exp.`=vars[1:2]*100,
               `%Exp_Acum`=cumsum(vars)[1:2]*100)
table1 <- round(table1, 2)
table1
write.table(table1, "Table_1.txt") #Comando para salvar a tabela final

#####
### Plot ggplot2 ###
#####

#Carregando os pacotes necessarios para elaboração das figuras
library(ggplot2)
library(ggfortify)
library(ggthemes)
library(factoextra)
library(cowplot)

#PCA Gráfico
#Elipse como medida de confiança para os tratamentos
?fviz_pca_biplot #Função do pacote factoextra()
names(tab)
p1 <- fviz_pca_biplot(respca,
                      label = "var", #Nomes das unidades amostrais
                      habillage = tab$Grupos, #Variavel categorica
                      palette = c("red", "blue", "green"), #Cores da variavel categorica
                      addEllipses = TRUE, #Elipse com 95% de confiança dos dados

```

```
alpha.ind = 0.9, #Transparencia dos pontos
title = "",
col.var = "black")+
theme_base(base_size=15)+
theme(legend.title=element_blank(),
      legend.position=c(0.9,0.9),
      panel.border=element_rect(size=1.5, fill=NA),
      panel.grid.minor=element_blank(),
      panel.grid.major=element_blank()+
guides(size="none")

p1
ggsave("P_PCA_p4.jpeg", width = 9, height = 7, dpi = 400)

#Plot de varios objetos
plot_grid(p1, p2, p3, p4, ncol = 2, labels = "AUTO")
ggsave("P_PCA_p1-p4.jpeg", width = 15, height = 11, dpi = 300)
```


Parâmetros	Classificação	Municípios													
		Maracanã	Salinópolis	Santarém-Novo	São João de Pirabas	Primavera	Nova Timboteua	Igarapé-Açu	Peixe-Boi	Capanema	São Miguel do Guamá	Bonito	Santa Maria do Pará	São Francisco do Pará	Castanhal
Possui Legislação voltada ao Gerenciamento Costeiro	Existente	0	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inexistente														
Possui Termo de Adesão à Gestão das Praias (TAGP) visando o Projeto Orla	Sim	0,5	0	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Submetido														
	Não/Indeferido														
Existem no município trabalhos/estudos ou projetos desenvolvidos para o gerenciamento costeiro	Existente	1	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Inexistente														
Média (adimensional)		0,65	0,67	0,46	0,52	0,50	0,50	0,77	0,68	0,86	0,68	0,68	0,68	0,77	1,00
Média (%)		65%	67%	46%	52%	50%	50%	77%	68%	86%	68%	68%	68%	77%	100%