

**UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA – UNIARA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO**  
**TERRITORIAL E MEIO AMBIENTE**

**Rafael Caracho**

**INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS INTEGRADOS EM ANÁLISE GERENCIAL:  
PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS (ISSBH) COMO FERRAMENTA DE SUPORTE PARA TOMADA DE  
DECISÃO**

**ARARAQUARA**  
**2024**

**Rafael Caracho**

**INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS INTEGRADOS EM ANÁLISE GERENCIAL:  
PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS (ISSBH) COMO FERRAMENTA DE SUPORTE PARA TOMADA DE  
DECISÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, curso de Mestrado, da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

**Área de Concentração:** Ciências Ambientais

**Orientador:** Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni

**ARARAQUARA**

**2024**  
**FICHA CATALOGRÁFICA**

C251i Caracho, Rafael

Indicadores socioambientais integrados em análise gerencial: proposta de um índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (SSBH) como ferramenta de suporte para tomada de decisão/Rafael Caracho. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2024.

60f.

Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente- Universidade de Araraquara-UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni

1. UGRHI. 2. Indicadores socioambientais. 3. Tomada de decisão.  
I. Título.

CDU 577.4

# FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA

Rua Voluntários da Pátria, 1309 - Centro - Araraquara - SP  
CEP 14801-320 | (16) 3301-7100 | www.uniara.com.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

NOME DO(A) ALUNO(A): **RAFAEL CARACHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, curso de Mestrado, da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento Territorial e Alternativas de Sustentabilidade.

### BANCA EXAMINADORA

---

Douglas Aparecido Girolli  
Secretaria Municipal de Educação

---

Prof. Dr. Juliano José Corbi  
UNIARA – Araraquara

---

Prof. Dr. Guilherme Rossi Gorni  
UNIARA - Araraquara

Araraquara – SP, 13 de março de 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Neste trabalho de dissertação de mestrado, gostaria de agradecer:

Ao meu pai, que se foi durante a construção deste trabalho, e que me deu forças nos momentos mais difíceis.

Aos meus demais familiares, por compartilhar todas as dificuldades e alegrias durante este período.

A todos os colegas do grupo de estudos ambientais (CEAM), ao meu orientador, demais professores e funcionários pertencentes ao programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (UNIARA).

À CAPES, que possibilitou o desenvolvimento deste estudo.

E todos que participaram, direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, e em prol da minha evolução pessoal e acadêmica.

## RESUMO

Esta pesquisa apresentou fatores que contribuem para a existência dos problemas do uso e de conservação dos recursos hídricos e da qualidade socioambiental, apontou os locais mais vulneráveis destas ocorrências e discutiu possíveis caminhos a fim de amenizá-los. A política estadual de recursos hídricos - Lei nº 7.663/1991 - estabeleceu a adoção da bacia hidrográfica como a unidade para a gestão no estado de São Paulo. Por sua vez, a Lei nº 9.034/1994 dividiu o território em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Especificamente foi tratado a Região Hidrográfica do Rio Tietê, sendo a maior bacia contida no Estado de São Paulo. Através de indicadores socioambientais e posterior criação de um índice de sustentabilidade socioambiental de bacias hidrográficas (ISSBH), via programação (R), foi feita uma análise das condições e mudanças da qualidade ambiental, com o intuito de servir como ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão e formulação de políticas públicas. Foram geradas informações sobre as UGRHI's, perante uma análise socioambiental, onde identificou-se deficiências nas políticas públicas e falta de planejamento na gestão de recursos hídricos. De acordo com a proposta do ISSBH, este estudo classifica as UGRHI's da Bacia Hidrográfica do Tietê, através de seu grau de sustentabilidade.

**Palavras-chave:** UGRHI; Recursos Hídricos; Análise Socioambiental.

## ABSTRACT

This research presented factors that contribute to the existence of problems in the use and conservation of water resources and socio-environmental quality, identifying the most vulnerable places for these occurrences and discussing possible ways to alleviate them. The state water resources policy - Law nº 7,663/1991 - distributed the adoption of the river basin as the unit for management in the state of São Paulo. In turn, Law No. 9,034/1994 divided the territory into 22 Water Resources Management Units (UGRHI). Specifically, it was treated for the Tietê River Hydrographic Region, being the largest basin contained in the State of São Paulo. Through socio-environmental indicators and the subsequent creation of a socio-environmental sustainability index for river basins (ISSBH), via programming (R), an analysis of the conditions and changes in environmental quality was carried out, with the aim of serving as a support tool in the process of decision making and formulation of public policies. Information was generated about the UGRHIs, before a socio-environmental analysis, which identified deficiencies in public policies and a lack of planning in the management of water resources. According to the ISSBH proposal, this study is classified as UGRHI of the Tietê Hydrographic Basin, through its degree of sustainability.

**Keywords:** UGRHI; Water resources; Socio-environmental Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Distribuição de Água pelo planeta.....	12
<b>Figura 2</b> - Usos e retirada da Água no Estado de São Paulo. ....	15
<b>Figura 3</b> - Regiões Hidrográficas e Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. ....	18
<b>Figura 4</b> - Arquitetura de uma RNA.....	22
<b>Figura 5</b> - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) – ONU.....	23
<b>Figura 6</b> - As UGRHI's estabelecidas ao longo do Tietê. ....	26
<b>Figura 7</b> - Análise PCA – Indicadores Socioambientais pertencentes às UGRHIs 5; 6; 10; 13; 16 e 19 dos anos de 2010 a 2022 (Plataforma R). ....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 5, entre os anos de 2010 a 2022. ....	37
<b>Gráfico 2</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 6, entre os anos de 2010 a 2022. ....	38
<b>Gráfico 3</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 10, entre os anos de 2010 a 2022. ....	39
<b>Gráfico 4</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 13, entre os anos de 2010 a 2022. ....	40
<b>Gráfico 5</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 16, entre os anos de 2010 a 2022. ....	41
<b>Gráfico 6</b> - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 19, entre os anos de 2010 a 2022. ....	42
<b>Gráfico 7</b> - Boxplot do Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH) calculado para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 05; 06; 10; 13; 16; 19) entre os anos de 2010 a 2022. ....	43
<b>Gráfico 8</b> - Aplicação – Redes Neurais Artificiais (RNAs). ....	45
<b>Gráfico 9</b> - Comparação – Real x Previsto – Software R. ....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**CEMADEN** - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

**FEHIDRO** - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IPEA** - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

**MEA** - Millennium Ecosystem Assessment

**MPOG** - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

**ODS** - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**RNAs** - Redes Neurais Artificiais

**SEMIL** - Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo

**SIGRH** - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos

**SIMA** - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

**UGRHI** - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.2 Ciclo da Água e seu Serviço Ecossistêmico .....	14
1.3 Recursos hídricos - institucional e legislação .....	16
1.4 Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's) .....	17
1.5 Índice e indicadores .....	18
1.5 Redes Neurais Artificiais .....	21
1.6 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável .....	23
1.7 Justificativa .....	24
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>25</b>
2.1 Objetivos Específicos .....	25
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Área de Estudo.....	26
3.2 Indicadores Socioambientais .....	26
3.3 Análise de Dados .....	34
3.4 Proposta do Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH) .....	35
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
4.1 UGRHI 5.....	37
4.2 UGRHI 6.....	38
4.3 UGRHI 10.....	39
4.4 UGRHI 13.....	40
4.5 UGRHI 16.....	40
4.6 UGRHI 19.....	41
4.7 Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH) .....	42
4.8 Aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs) .....	44
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

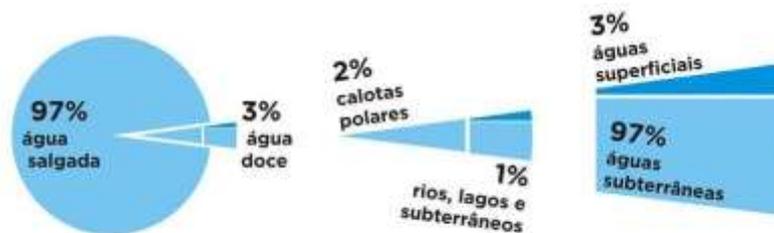
## 1. INTRODUÇÃO

As águas sempre foram vitais para a manutenção da vida, porém, diante de um mundo globalizado, a utilização da água de forma maciça e progressiva, tanto da parte superficial quanto na subterrânea, junto ao desmatamento e degradação de ecossistemas, ameaçam a manutenção do ciclo hidrológico (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2020).

Os níveis de produção e a alta demanda de matrizes energéticas aumentam progressivamente em todo o mundo em decorrência ao alto padrão de consumo, tendo como consequência diversos problemas ligados à degradação dos recursos naturais, paralelo aos problemas de eventos climáticos e sua instabilidade, além da carência de terras cultiváveis, a urbanização desordenada e deterioração dos recursos hídricos (DIEHL; GLEDITSCH, 2018).

Para compreender o tamanho do problema e da importância da preservação dos recursos naturais, e especificamente os hídricos, vide a disposição deste precioso bem no planeta Terra, que é constituído por mais de 97% de água salina. E dos 3% de água doce, 2% são oriundos de calotas polares e geleiras, assim, apenas 1% são de origem dos rios, lagos e águas subterrâneas (USGS, 1993). Vide representação na Figura 1.

**Figura 1** - Distribuição de água no mundo.



Fonte: DAE – Bauru.

De acordo com o caminho trilhado pelo mercado mundial e, conseqüentemente os consumidores, teremos um grande desafio no presente e futuro da sociedade. Segundo François Chesnais (1996), a “mundialização” é caracterizada pela intensificação das relações entre distintos agentes econômicos que estão em diversos lugares do mundo. Essa conectividade global possui vantagens e desvantagens, nos levando a cenários positivos e de desenvolvimento como sociedade, todavia, também nos leva a cenários caóticos, tais como: crises econômicas globais, criação de zonas de exploração, aumento de processos de exclusão e do capital

especulativo, desemprego, monopólio das grandes empresas, redução de salários (SANTOS, 2001).

Neste contexto destacam-se os impactos ambientais, causadores de eventos de instabilidade climática significativos no planeta, vide no caso do Brasil, que nos últimos 50 anos mais de 1,8 milhão de km<sup>2</sup> de vegetação nativa foram retirados dos biomas da Amazônia e do Cerrado, transformados em espaço para pastagem de gado e criação de monoculturas, prejudicando o equilíbrio de todo ecossistema (STRASSBURG *et al.*, 2017). Além do aumento da demanda do consumo de carne, a ampliação de pastagens também está atrelada a “grilagem” nas terras dos povos originários, no entanto, a criação de gado por terceiros nestas locais, é proibida e protegida por lei (CF. 88, art.º 23) (BISPO, 2023).

A região Sudeste do Brasil, entre os anos de 2014 a 2017, sofreu um período de seca, sendo que as causas desta crise vão desde a diminuição das chuvas (problema no sistema de alta pressão atmosférica, impedindo a chegada de ventos úmidos oriundos das frentes frias), o desmatamento, além da intensa ocupação dos mananciais (MARENGO *et al.*, 2016). Devido à alta demanda do uso da água na grande São Paulo, junto ao déficit no nível dos reservatórios, instaurou-se uma grave instabilidade hídrica, apontando diversos problemas e fragilidades nas políticas públicas voltadas para o gerenciamento dos recursos hídricos, além de sérias consequências econômicas e sociais, tais como: falta de abastecimento de água e energia nas cidades e problemas na agricultura (CERQUEIRA *et al.*, 2015; NETO CESAR, 2022;).

Outro caso de grande impacto no Brasil, especificamente no estado de São Paulo, e oposto a seca ocorrida nos anos de 2014 a 2017, foi a intensa chuva que atingiu o litoral norte em fevereiro de 2023, onde volumes históricos pluviométricos atingiram a região em diversos municípios, em um curto espaço de tempo, nas seguintes localidades: Bertioga (683 mm), São Sebastião (627 mm), Guarujá (395 mm), Ilhabela (337 mm), Ubatuba (335 mm), Caraguatatuba (234 mm), Santos (232 mm), Praia Grande (209 mm), São Vicente (194 mm), Cubatão (117 mm), Mongaguá (112 mm), Itanhaém (94 mm) e Peruíbe (98 mm), sendo que esse evento causou dezenas de deslizamentos e ao menos 65 mortos (LETRAS AMBIENTAIS, 2023). Já no interior do estado de São Paulo, segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) choveu 195 milímetros em Araraquara no dia 28 de dezembro de 2022, sendo que neste dia, em todo território nacional, foi a segunda cidade com maior volume pluviométrico, atrás apenas da cidade de São Carlos, que obteve registro de 241 milímetros de chuva, e um total de 7 mortes nas duas cidades juntas (ESTRUTURA, 2022).

Diante deste cenário global, para além dos eventos climáticos e a escassez de recursos naturais, há também uma projeção de que a população atingirá 8,5 bilhões em 2030, cerca de 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100 (ONU, 2021). Em decorrência deste crescimento populacional, conversões técnicas serão insuficientes para sanar este problema, entretanto, é fundamental que modificações organizacionais, como por exemplo as de cunho social ocorram na sociedade (HOGAN, 1993).

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas em prol do combate, ou da compreensão dos problemas socioambientais. Como o caso de ferramentas utilizadas na tentativa de predição dos problemas, através de análise de dados, especificamente o caso dos índices, tais como: Índices de Desenvolvimento Humano (IDH); Pegada ecológica (PE); Índice de Performance Ambiental (EPI), Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVS), entre outros, que serão citados posteriormente.

## **1.2 Ciclo da Água e seu Serviço Ecológico**

"A água é um elemento essencial do desenvolvimento sustentável em virtude de sua estreita correlação com vários desafios reais" (ONU, 2012). Os recursos hídricos, especificamente as águas subterrâneas, são fundamentais para a manutenção da vida no planeta, dentre diversos aspectos, sendo imprescindível a sua proteção (HIRATA *et al.*, 2019). O ciclo da água, também conhecido como ciclo hidrológico, é um processo de transformação da água na natureza, passando de um estado para outro (líquido, sólido ou gasoso), da movimentação da água pelos seres vivos e pelo meio ambiente (PORTO, 2012). Este fenômeno é impulsionado por diversos fatores, dentre eles podemos destacar a força dos ventos, a energia térmica solar e a força da gravidade (TUNDISI *et al.*, 2003).

Para compreender a importância do recurso hídrico temos que entender qual o seu serviço ecológico. Segundo Daily e Farley (2004) serviços ecológicos são produtos de funções ecológicas ou processos que direta ou indiretamente contribuem para o bem-estar humano. De acordo com Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), serviços ecológicos são definidos como "os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas". Estes serviços podem ser classificados como: serviços ecológicos de provisão (alimento e água), serviços de regulação (regulação do clima, regulação da água), serviços de suporte (ciclagem de nutrientes) e serviços culturais (oportunidades para atividades de recreação) (EMBRAPA, 2019).

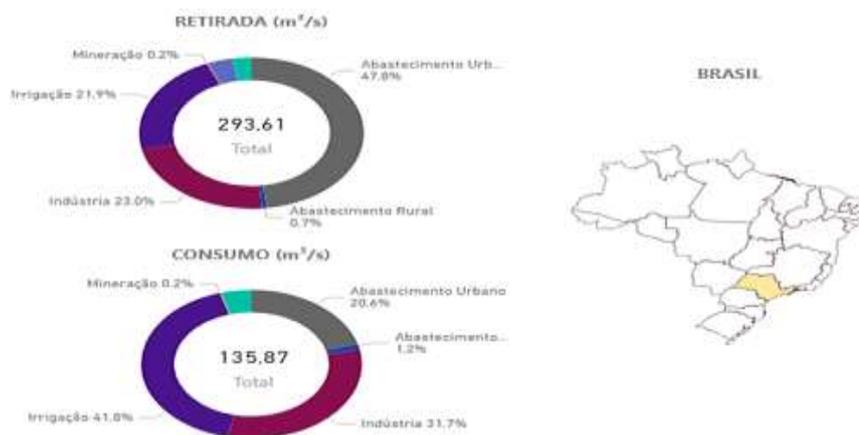
Vários benefícios para a sociedade são fornecidos pelos recursos hídricos, tais como: o controle da erosão, da qualidade e o abastecimento de água doce, além de influência nos aspectos culturais e o abrandamento das cheias (EMBRAPA, 2019).

Os serviços ecossistêmicos hidrológicos são interligados por componentes sensíveis às mudanças, com alto grau de complexidade (EMBRAPA, 2019). Como por exemplo os rios e seus afluentes, especificamente os lugares onde existem os olhos d'água - nascentes, que sofrem alterações relevantes através das implicações antrópicas, tais como: o alto grau urbanização, a expansão da agricultura e o desmatamento (IPE, 2022). A consequência desses fatores acarreta menor abastecimento dos lençóis freáticos e aquíferos (CETESB, 2022).

Com o desenvolvimento da sociedade, o uso da água aumentou significativamente, no entanto, destaca-se as mais variadas atividades humanas que causam relevante impacto na natureza, como o despejo de resíduos sem tratamento adequado, às atividades agrícolas e industriais, o desmatamento, o assoreamento dos rios e corpos d'água, a extração de minérios e o alto padrão de consumo, ou seja, todas estas causam impactos nos recursos hídricos (TURNER, 1988; TUNDISI, 2003, 2006).

Diante desta conjuntura contemporânea, o conjunto de usos da água presente nas diferentes atividades humanas no Estado de São Paulo, é representado e exemplificado na Figura 2.

**Figura 2 - Usos e retirada da Água no Estado de São Paulo.**



Fonte: BRASIL, 2022.

Conforme a representação na Figura 1, sobre o uso e retirada da água no estado de São Paulo, identifica-se um possível motivo da retirada do abastecimento urbano ser em torno de 47,8% e o consumo ser apenas de 20,6%, aparentemente existe uma porcentagem significativa de evasão de água. Com o objetivo de financiar programas e ações na área de recursos hídricos,

e também disponível aos municípios, visando sanar o problema de perdas no abastecimento, existe o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), que segundo a Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL), é regulamentado pelo Decreto Estadual nº 48.896/2004 e suas alterações, sendo a instância econômico-financeira do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH).

Diante deste contexto da utilização da água e sua complexa diversificação na vida cotidiana da sociedade, sem uma gestão integrada e planejada, todo o ciclo hidrológico permanece ameaçado, entretanto, o planejamento ambiental e urbano existe para poder minimizar estes problemas e tentar solucioná-los (BRASIL, 2001; TUNDISI, 2003).

### **1.3 Recursos hídricos - institucional e legislação**

A lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 referente ao gerenciamento dos recursos hídricos, define e cria seu sistema nacional, baseando-se em seis princípios:

“1. A água é um bem público; 2. A água é um recurso finito e tem valor econômico; 3. Quando escassa, o abastecimento humano é prioritário; 4. O gerenciamento deve contemplar usos múltiplos; 5. O manancial representa a unidade territorial para fins gerenciais; 6. O gerenciamento hídrico deve se basear em abordagens participativas que envolvam o governo, os usuários e os cidadãos “ (BRASIL, 1997).

Para compreendermos este contexto, deve-se entender o que é a bacia hidrográfica e seus desdobramentos. O entendimento sobre bacia hidrográfica ser a unidade mais adequada para o gerenciamento dos recursos hídricos, consolidou-se a nível global apenas nas últimas décadas, ou seja, é um conceito recente na história da sociedade (NAKAMURA; NAKAJIMA, 2002). A bacia hidrográfica permite a integração de várias formas de pesquisa junto ao controle gerencial, com isso gerando a captação de diversos dados e informações, em prol do planejamento e desenvolvimento hídrico de determinada região (TUNDISI *et al.*, 2003).

O termo “Bacia Hidrográfica” possui diversas definições, dentre elas destaca-se: é o conjunto de terras delimitadas pelos divisores de água e drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes (CERH/MG, 2010); é um ecossistema agregado ao aspecto hidrológico, junto a elementos e processos que se completam (TUNDISI, 2006).

O esforço institucional que se realizou no Brasil integra os seguintes tópicos essenciais ao gerenciamento: a gestão por bacias hidrográficas e implantação dos comitês de bacia; a

cobrança pelos usos da água em alguns estudos e bacias hidrográficas; a destinação de recursos para a gestão de bacias hidrográficas (BRASIL, 1997).

Com o intuito de coordenar a gestão integrada das águas, o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos foi criado, a fim de solucionar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água, planejar, regular a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, e consequentemente taxar pela utilização da água. Sua composição é formada: pela integração do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, da Agência Nacional das Águas, dos Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, dos Comitês de Bacia Hidrográfica, e dos órgãos de governo com finalidades referentes ao gerenciamento dos recursos hídricos e as Agências de Água (BRASIL, 1997).

Os relatórios de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, foram implantados a partir do ano de 1994. Mas, estes documentos passaram a serem publicados, através de uma estrutura metodológica desenvolvida pela Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos Paulista, atual Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA), apenas no ano de 2007, com embasamento no uso das variáveis denominadas “matriz FPEIR” (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) (CETESB, 2022).

Destaca-se a possibilidade que os municípios possuem de planejar e implementar suas políticas urbanas através do gerenciamento dos recursos hídricos, na intenção de proteger as áreas de recarga e garantir a qualidade e quantidade dos recursos hídricos, entretanto, cabe destacar que a Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001, propicia a utilização de diversos ferramentas para o gerenciamento urbano, através do estatuto da cidade (BRASIL, 2001).

#### **1.4 Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's)**

O estado de São Paulo diante da política estadual de recursos hídricos (Lei nº 7.663/1991) estabeleceu a adoção da bacia hidrográfica como forma de gerenciamento. Logo, a Lei nº 9.034/1994 dividiu o território em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), sendo levados em consideração os divisores de água, critérios ambientais, socioeconômicos e administrativos como território de atuação em planejamento e gestão de recursos hídricos (SÃO PAULO, 1991).

As Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos são formadas em sua maior parte por bacias hidrográficas ou por um conjunto delas, no entanto estabeleceu-se regiões de estudos agregando toda a bacia, com o objetivo de integralização entre as UGRHI's e suas relações quanto às transferências das águas (CETESB, 2021). Dessa forma, no plano estadual de

recursos hídricos (2004-2007), constituiu-se sete regiões hidrográficas (RH), como: RH da Bacia do Paraíba do Sul; RH da Vertente Litorânea; RH do Rio Grande; RH do Rio São José dos Dourados; RH do Rio Tietê; RH dos rios Aguapeí e Peixe e RH do Rio Paranapanema (SÃO PAULO, 2006). Conforme (Figura 3), podemos visualizar a cada região hidrográfica do estado de São Paulo.

**Figura 3** - Regiões Hidrográficas e Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.



Fonte: CBHTJ, 2021.

## 1.5 Índice e indicadores

Segundo o IBGE (2008), indicadores são instrumentos que, associados a partir de diversas estruturas, expressam as mais amplas interpretações sobre os fatos a que se referem. Já o Ministério do Planejamento e Orçamento e Gestão - MPOG (2012) assume as seguintes definições: “O indicador é uma medida, de ordem quantitativa ou qualitativa, dotada de significado particular e utilizada para organizar e captar as informações relevantes dos elementos que compõem o objeto da observação”. Ainda segundo o MPOG (2012) destaca-se: “Indicadores são informações que permitem descrever, classificar, ordenar, comparar ou quantificar de maneira sistemática aspectos de uma realidade e que atendam às necessidades dos tomadores de decisões”. Os indicadores, são um tipo de recurso metodológico que transmitem ao pesquisador, um parecer sobre a evolução do aspecto estudado (FERREIRA;

CASSIOLATO; GONZALEZ, 2009). Os indicadores auxiliam com transparência sobre o que se deseja alcançar nas instituições públicas e em sua produção, sendo uma técnica atrelada ao conceito de *accountability* (responsabilidade de desempenho) (BRASIL, 2000).

No entanto, já um índice seria um dado oriundo de um rol de indicadores que podem interpretar a autenticidade de uma ordem sistemática, podendo ser utilizado como um instrumento de gerenciamento, no propósito e na providência, entretanto, a sustentabilidade, é estabelecida por um rol de fatores socioeconômicos e ambientais, em favor da preservação e manutenção dos recursos naturais, para posterior compilação em um índice (SICHE *et al.*, 2007; TRIVELLATO, 2021). A análise através de indicadores ambientais permite a descrição das características dos componentes sociológicos, ecológicos ou ambientais de uma forma abrangente e compreensível (KUMAR *et al.*, 2021).

Alguns índices foram aplicados em diversas áreas de atuação visando melhorar a compreensão dos estudos, além de servir como ferramenta de planejamento nas áreas ambientais, sociais, de finanças, entre outras. Como por exemplo:

- Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVS)

O IVS é uma expressão quantitativa de análise, na qual é constituída por indicadores de renda, de comprometimento de renda e de fatores sociais de vulnerabilidade (VIEIRA *et al.*, 2023).

- Índice de sustentabilidade empresarial (ISE B3)

Este é um indicador de desempenho referente a uma carteira de ativos empresariais, com enfoque na sustentabilidade, no intuito de servir de apoio aos investidores, induzindo as empresas a adotarem as melhores práticas sustentáveis, como por exemplo as práticas de ESG (*Environment, Social and Governance*) (SILVA; LOPES DE LUCENA, 2019).

- Índices de Desenvolvimento Humano (IDH)

O IDH possui critérios de avaliação de educação, longevidade e renda, e é uma medida comparativa que envolve vários aspectos, como: riqueza, alfabetização, educação, expectativa de vida e natalidade e avalia o bem-estar de uma população. Criado pelo economista Mahbub ul Haq, em colaboração com o economista Amartya Sen, e é utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento em seu relatório anual desde então (PNUD, [s.d]; UNDP (sigla em inglês), 1990).

- Pegada Ecológica (PE)

Segundo Wackernagel e Rees (1996) no livro *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, (PE) é a quantidade de recursos ambientais necessários para produzir os bens e serviços que sustentam o estilo de vida particular de um indivíduo, e este indicador está atrelado aos bens de consumo e sua alta demanda frente a preservação dos recursos naturais.

- Índice Planeta Vivo (na sigla em inglês, LPI)

Desenvolvido a partir de 1997 pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF) “mede tendências em milhares de populações de mamíferos, aves, répteis, anfíbios e peixes em todo o mundo, mostrando um declínio de 58 % das espécies entre 1970 e 2012”, ou seja, é uma forma de mensurar a saúde dos ecossistemas do planeta, sendo uma tentativa de quantificar a extensão e severidade da perda de biodiversidade (WWF, 2022).

- Índice de Performance Ambiental (EPI)

É um método que auxilia a análise política frente a atuação ambiental de um determinado país, mediante a classificação e quantificação numérica, permitindo diagnósticos comparativos entre pesquisadores, cientistas etc. (ESTY, 2008).

- BES (Índice de bem-estar econômico sustentável)

É um indicador de sustentabilidade, que foi criado por Herman Daly e John Cobb em 1989 (*For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*), a priori com o intuito de analisar a evolução da economia dos EUA, sendo um valor que indica a sustentabilidade dos níveis de bem-estar de uma população em um determinado tempo, com ênfase no consumo pessoal.

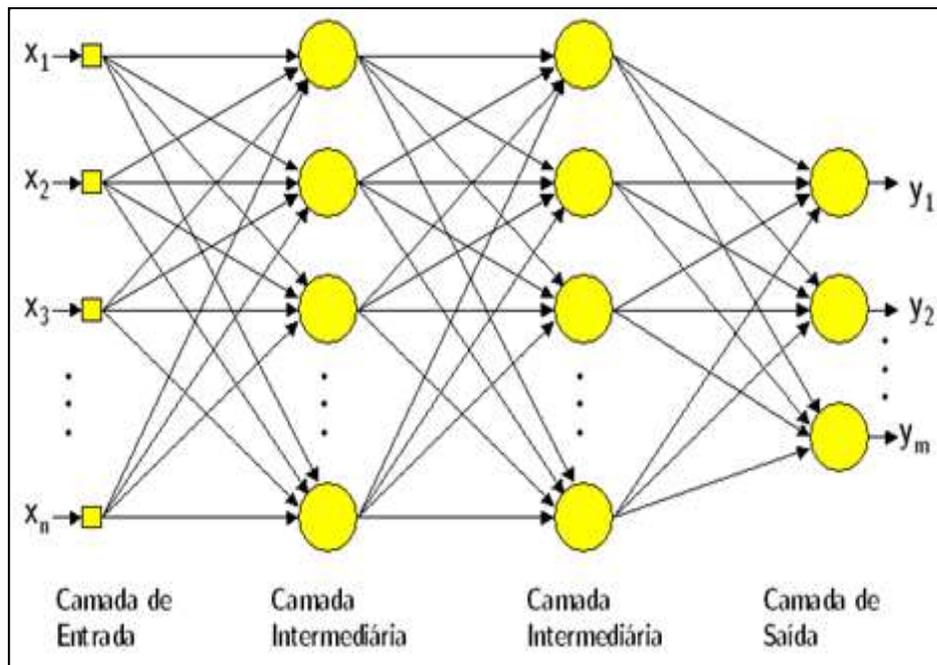
## 1.5 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são algoritmos de aprendizado de *deep learning*, baseados e inspirados no funcionamento do cérebro humano (KOVÁCS, 2006). Em 1943, estudos foram iniciados através dos trabalhos do médico Warren McCulloch e do matemático Walter Pitts que publicaram uma analogia entre as células nervosas e o processo eletrônico. Eles desenvolveram um modelo matemático de um neurônio (nodo), combinando vários nodos em sistemas neurais, e produzindo um elevado poder computacional (KOVÁCS, 2006). De forma simplificada e abrangente, pode-se definir o RNA como um protótipo de processamento da informação baseado na forma em que os sistemas nervosos biológicos podem processar suas informações (NAHAR, 2012).

Uma (RNA) é composta por diversos neurônios artificiais, criando um sistema que possui circuitos, que simulam o cérebro humano em seu processo de aprendizagem, onde as atividades de aprender, errar e fazer descobertas estão inseridas neste contexto (HAYKIN, 2001). Segundo Nahar (2012), cada neurônio possui uma função específica e individual, porém todos trabalham de forma conjunta para solucionar problemas específicos, reconhecendo padrões e classificando dados. Assim como as pessoas, as redes neurais artificiais aprendem através de exemplos, ajustando as conexões que existem entre os neurônios (NAHAR, 2012). Ou seja, elas processam a informação e fazem uma conexão entre os dados disponíveis, nos mostrando um caminho ou objetivo a ser seguido.

A estrutura de uma RNA possui a forma de um grafo direcionado, onde os “nós” representam os neurônios artificiais, como demonstrado na Figura 4.

**Figura 4 - Arquitetura de uma RNA.**



Fonte: HAYKIN, 2001.

Segundo Kaykin (2001), uma rede neural artificial é um processador composto por unidades de processamento simples, com propensão natural para armazenar conhecimento, ela tem seu funcionamento semelhante ao cérebro humano, sendo que primeiramente o conhecimento absorvido por ela, é através de um processo de aprendizagem mediante ao seu ambiente relatado, e segundo as forças de conexão entre neurônios, são as responsáveis pelo armazenamento do conhecimento obtido.

As RNAs são utilizadas em diversos âmbitos do conhecimento, e se apresentam melhores que os protótipos convencionais, sobretudo na aplicabilidade de análises temporais, área da saúde, com possibilidade futura de se tornar um mecanismo de aprendizagem automática (SIQUEIRA-BATISTA, 2014).

Sendo assim, a rede tem a capacidade de constatar a identificação de padrões, aprendendo e absorvendo dados por meio de exemplos, além de serem eficientes na modelagem de sistemas dinâmicos nas mais variadas áreas, principalmente na ciência e na engenharia, dando indícios que podem atuar na compreensão da fragilidade ambiental e seus modelos (SPÖRL; CASTRO; LUCHIARI, 2011).

## 1.6 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Na cidade de Nova York (EUA), no ano de 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu a agenda 2030, no intuito de contribuir com o equilíbrio social, econômico e ambiental no mundo, em prol da prosperidade e uma melhor qualidade de vida para as pessoas, paralelo a manutenção cíclica do nosso planeta, ou melhor dizendo, do nosso “Jardim do Éden” (segundo o naturalista David Attenborough, em sua fala no documentário “Nosso Planeta”, 2019). Ou seja, fora estabelecido uma busca permanente ao desenvolvimento sustentável e respeito universal aos direitos humanos nesse momento crucial de mudanças climáticas, esgotamento de recursos naturais, perda de biodiversidade, desemprego, em prol de um futuro de integração e equilíbrio para a humanidade (ONU, 2015).

Objetivando uma óptica amplificada no contexto ambiental e na preocupação da escassez da água entre outros problemas sociais, a ONU, órgãos ambientais e sociedade civil, problematizam situações a respeito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Ao todo são 17 objetivos de desenvolvimento sustentável que se complementam entre si, conforme figura 5 (ONU, 2015).

**Figura 5** - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) – ONU.



Fonte: Adaptado da ONU, 2023.

A fim de compreender a vulnerabilidade desta situação, a ONU produziu um total de 254 indicadores, organizados e distribuídos de acordo com sua classificação dentre os 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável, propondo que estes indicadores sirvam como guia para a avaliação da evolução da sociedade, ou seja, do progresso sentido ao desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

### **1.7 Justificativa**

O presente trabalho é realizado por motivação pessoal e acadêmica. A reflexão acerca da temática dos recursos hídricos e da qualidade socioambiental, utilizando indicadores sociais e ambientais oriundos das áreas do estado de São Paulo, determinadas como Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's) – especificamente da bacia hidrográfica do rio Tietê, traz um caráter totalmente inovador, pioneiro e de extrema importância no contexto local e global, sobre a escassez de recursos hídricos, dos impactos socioambientais e das mudanças climáticas.

Atualmente, a nível mundial, possuímos um profuso número de dados, porém temos deficiência em suas análises, na qualidade e precisão, no armazenamento, planejamento e aplicações desse conhecimento (TAYRA; RIBEIRO, 2006). Diante disto, a coleta dos indicadores socioambientais e posterior análise via RNAs, tem como objetivo, que estes dados possam se comunicar entre si, na tentativa de prever com base em análises estatísticas e gráficas, uma tomada de decisão mais assertiva dentre diversos aspectos.

Neste estudo, foi desenvolvido uma metodologia para possibilitar a avaliação dos impactos ambientais que causam problemas no ciclo hidrológico, na escassez dos recursos hídricos e nos impactos socioambientais. A metodologia utilizada consistiu em uma análise de dados históricos e atuais desses indicadores, a fim desenvolver modelos preditivos e mais precisos.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste estudo buscou propor um índice de sustentabilidade socioambiental de bacias hidrográficas, utilizando indicadores socioambientais, possibilitando uma maior compreensão sobre as relações entre as dimensões sociais e ambientais, subsidiando processos de tomada de decisão e formulação de políticas públicas.

### **2.1 Objetivos Específicos**

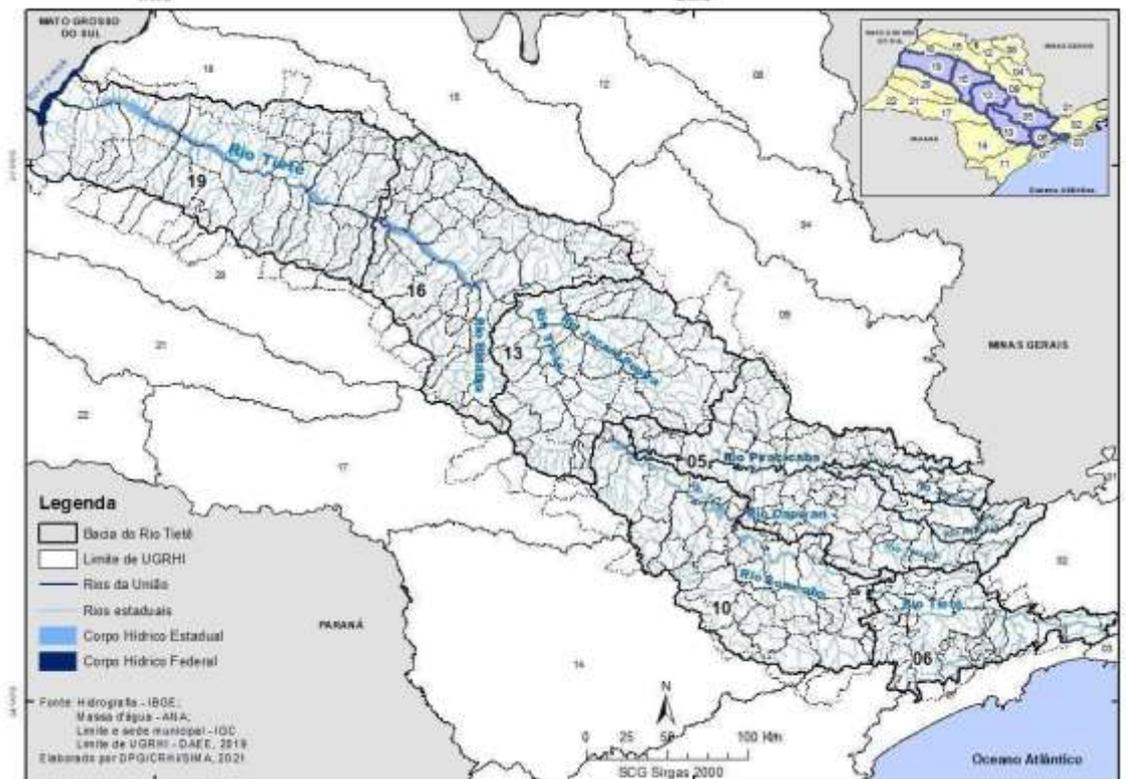
- Captar indicadores socioambientais das áreas referentes às UGRHI's que contemplam a Região Hidrográfica do Rio Tietê;
- Selecionar indicadores socioambientais que reflitam a realidade do desenvolvimento característica específica de cada bacia analisada;
- Utilizar ferramentas de inteligência artificial (Redes Neurais artificiais) como ferramenta alternativa para a gestão de bacias;
- Indicar a deficiência das políticas públicas na região inserida;
- Gerar subsídios para melhor tomada de decisão dos gestores públicos.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

A Região Hidrográfica do Rio Tietê (Área: 72.391 km<sup>2</sup>) foi destacada e analisada devido a seu alto grau de importância hídrica para a maior parte da população do estado, além da diversidade e características distintas entre suas regiões de formação, pois é a maior bacia do estado de São Paulo, composta por seis UGRHI's, tais como: UGRHI 6-Alto Tietê, nascente do rio, onde está inserida a Região Metropolitana de São Paulo; UGRHI 10 – Tietê/Sorocaba; UGRHI 13-Tietê/Jacaré; UGRHI 16-Tietê/Batalha; UGRHI 19-Baixo Tietê e UGRHI 5- Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ), interestadual, que nasce em território mineiro e importante bacia de contribuição do Rio Tietê (Figura 6) (CBHTJ, 2021).

**Figura 6 - As UGRHI's estabelecidas ao longo do Tietê.**



Fonte: BRASIL, 2021.

#### 3.2 Indicadores Socioambientais

A pesquisa combinou indicadores socioambientais relacionados à qualidade da água, ao desenvolvimento humano e qualidade ambiental, criou variáveis e suas correlações, com o intuito de realizar uma classificação/caracterização ambiental, percorrendo toda a Bacia

Hidrográfica do rio Tietê (UGRHI 6-Alto Tietê; UGRHI 5-Piracicaba/Capivari/Jundiaí - PCJ UGRHI 10 – Tietê/Sorocaba; UGRHI 13-Tietê/Jacaré; UGRHI 16-Tietê/Batalha e UGRHI 19-Baixo Tietê). E a partir da especificação e características desta região, os dados analisados nos permitiram avaliar o desenvolvimento da região, mediante a vocação de cada UGRHI, como por exemplo: UGRHI industrial (I), UGRHI em industrialização (EI) e UGRHI agropecuária (AG).

A pesquisa dos dados secundários foi realizada via diversas plataformas de instituições públicas e governamentais. Dentre elas, destacamos: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – Comitês de Bacias Hidrográficas; Companhia Ambiental do estado de São Paulo – CETESB (Relatório de Qualidade das Águas Interiores/ou Superficiais); Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A coleta destes dados foi realizada diante de um “pinçamento” específico de cada parâmetro, devido suas fontes serem segregadas, de difícil agrupamento e diferenciação do tipo de plataforma ou arquivo que estão inseridos.

Foi computado um total de 20 indicadores socioambientais, que foram classificados e segregados em 3 grupos de indicadores totais das UGRHI'S, como: Indicadores Ambientais (5), Indicadores Socioeconômicos (5) e Indicadores de Disponibilidade Hídrica (10). Respectivamente, segue a apresentação e definição de cada um:

Primeiramente destacamos os 5 indicadores ambientais, sendo:

- **Quantidade de Avaliação de Impactos Ambientais**, seria uma ferramenta que identifica futuras consequências de uma ação no meio ambiente (rios, lagos, florestas) mediante a atividades e empreendimentos (BRASIL, 2016);
- **Resíduo sólido urbano disposto em aterro enquadrado como adequado (%)**, trata-se de todos os materiais descartados pelo consumo humano (de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de varrição) e após o tratamento adequado de separação e preparação, são enviados aos aterros, mas apresentam um grande desafio aos municípios, pois são gerados em larga escala e por variados materiais, além da importância do seu descarte adequado, pois quando enviado para áreas ambientalmente inadequadas provocam problemas socioambientais, que afetam a qualidade do meio ambiente e a saúde da população (IPEA, 2021);

- **Área de Vegetação Nativa Remanescente e a Classe do Índice de Cobertura Vegetal (%) em relação à superfície da UGRHI (Área de Drenagem (ha))**, que está relacionada a cobertura vegetal primária ou em regeneração, que não esteja em regime de pousio, tal como definido no art. 3º, inciso XXIV da Lei Federal nº 12.651/12 (IBRAM, 2018);
- **Áreas degradadas (hectares)**, significa a redução da quantidade e qualidade da capacidade atual e futura do solo para produção vegetal, ou seja, a área de cobertura vegetal é a defesa natural contra erosão, o escoamento superficial e aumento da infiltração de água no solo, portanto às áreas ambientais degradadas se referem a todos os processos do meio físico que são modificados antropicamente, não apenas aos aspectos de vegetação em si (CBHTJ, 2021);
- **Número de Áreas contaminadas cadastradas no Estado de SP**, é um índice que representa todas as áreas contaminadas no estado de São Paulo e que são cadastradas pela CETESB (2022), e a origem de suas atividades são: as atividades comerciais, industriais, resíduos, postos de combustíveis e acidentes/desconhecidos ou agricultura;

Em segundo destacamos 5 indicadores socioeconômicos, sendo:

- **Escolarização - 6 a 14 anos** é a razão entre o número total de matrículas e a população correspondente na faixa etária prevista para a formação na etapa de ensino, ou seja, a taxa de escolarização é a percentagem dos estudantes (de um grupo etário) em relação ao total de pessoas (IBGE, 2008);
- **IDHM - Índice de desenvolvimento humano municipal** é uma medida constituída de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: educação, longevidade e renda, relevante para fornecer informações sobre a unidade político-administrativa a população de cada município (IPEA, 2023);
- **Mortalidade infantil - óbitos por mil nascidos vivos** é indicador de saúde e condições de vida de uma população, e o cálculo da sua taxa, estima-se o risco de um nascido vivo morrer antes de chegar a um ano de vida, mas mesmo sendo um indicador de saúde ele permite uma análise das condições de vida e do desenvolvimento social e econômico (BRASIL, 2021);
- **PIB per capita - R\$**, segundo o IPEA (2022) o produto interno bruto é o total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras residentes destinados ao

consumo final. O PIB per capita refere-se ao cálculo da divisão do PIB pelo número de habitantes da UGRHI;

- **Densidade demográfica - hab/km<sup>2</sup>**, também conhecido como densidade populacional ou densidade relativa, é um indicador populacional que mede a relação entre a população absoluta e a extensão territorial, sendo que o cálculo da densidade demográfica é feito pela divisão entre a população absoluta e a área ocupada por essa população (IBGE, 2008);

Em terceiro destacamos 10 indicadores de disponibilidade hídrica, sendo:

- **Disponibilidade per capita - Vazão média em relação à população total (m<sup>3</sup>/hab.ano)**, a qual é demonstrada pela vazão média de longo período por habitante/ano, além disso, este índice é utilizado pela ONU, onde definem as seguintes situações: < 1.000 m<sup>3</sup>/hab/ano – Situação de escassez; 1.000 a 1.700 m<sup>3</sup>/hab/ano – Situação de estresse hídrico, realizando uma classificação dos países: muito pobre, pobre, regular, rico e muito rico (LOTUFO CONEJO *et al.*, 2009);
- **Índice de Qualidade das Águas – IQA**, desenvolvido para avaliar a qualidade da água em seu estado bruto visando o abastecimento público e o tratamento das águas, onde é composto por 9 parâmetros (Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>), Temperatura da água, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Turbidez e Resíduo Total) (CETESB, 2022);
- **Perda de Distribuição de Água**, é um indicador que visa mensurar a quantidade de água que é perdida desde sua retirada até a distribuição ao usuário (antes de ser consumida), oriundas de questões técnicas (vazamentos nas redes) ou comerciais (fraudes, etc.) (CETESB, 2022);
- **Consumo de água per capita l/hab./dia**, é um índice que demonstra o volume de água consumida, em termos de litros consumidos por habitante ao dia é essencial para o planejamento e projetos de sistemas de abastecimento de água (CETESB, 2022);
- **Índice de atendimento urbano de água**, expressa qual a porcentagem da população residente na área urbana do município que é atendida, e se beneficia dos serviços públicos de abastecimento de água (CETESB, 2016);
- **Vazão outorgada subterrânea em relação às reservas exploráveis**, é a vazão regularizada de águas subterrâneas referente às reservas passíveis de exploração, ou

seja, seria a retirada dos recursos hídricos com máquinas adequadas, para fins de beneficiamento, transformação e utilização (CETESB, 2020);

- **Vazão outorgada total em relação à Q95%**, é a vazão de referência determinada estatisticamente, e representa uma vazão mínima de um curso de água, tendo em vista ser superada em 95% do tempo (CETESB, 2020);
- **Vazão outorgada superficial em relação à vazão mínima superficial (Q7,10%)**, conforme ao art.2º da Portaria do Instituto Mineiro da Gestão de Águas (Igam) nº 48, de 2019, é a vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência, é a média das vazões mínimas obtida nos sete dias mais críticos de um ano hidrológico qualquer, cuja criticidade somente é igualada ou excedida, em média, uma vez a cada dez anos;
- **Indicador de coleta e tratabilidade de esgoto da pop. urbana e município (ICTEM)**, segundo a CETESB (2017) é um indicador que destaca o desempenho dos sistemas de tratamento de esgoto dos municípios, levando em consideração a coleta, a remoção da carga orgânica, o tratamento e afastamento de rios e córregos, sendo um índice que reflete a evolução de conservação de um sistema público de tratamento de esgotos, onde é formado por cinco elementos, sendo: a) Coleta; b) Existência e eficiência do sistema de tratamento do esgoto coletado; c) A efetiva remoção da carga orgânica em relação à carga potencial; d) A destinação adequada de lodos e resíduos gerados no tratamento; e) O não desenquadramento da classe do corpo receptor pelo efluente tratado e lançamento direto e indireto de esgotos não tratados;
- **Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas – IPAS**, para a CETESB (2022), o indicador é determinado a partir do percentual de amostras de água bruta em anuência com os padrões determinados na Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde (MS), ou seja, este índice destaca as desconformidades de qualidade da água bruta em relação aos padrões de potabilidade.

O organograma e classificação dos indicadores podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Organograma e classificação dos Indicadores.

CLASSIFICAÇÃO	INDICADORES	DESCRIÇÃO
INDICADORES SOCIOECONÔMICOS	ESC – Escolarização (2010)	Razão entre o número total de matrículas e a população correspondente na faixa etária prevista.
	PIB – Produto Interno Bruto (2019)	Total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras residentes destinados ao consumo final.
	MI – Mortalidade Infantil (2022)	Risco de um nascido vivo morrer antes de chegar a um ano de vida.
	DD – D. Demográfica (2010)	Indicador populacional que mede a relação entre a população absoluta e a extensão territorial.
	IDHM (2010)	Medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda.
INDICADORES AMBIENTAIS	AIA – N° AIAs (2021)	Avaliação de Impactos Ambientais e sua quantidade
	AVNR – Área de Vegetação Nativa Remanescente e a Classe do Índice de Cobertura Vegetal (2020)	Cobertura vegetal primária ou em regeneração, que não esteja em regime de pousio.
	RSA – Resíduo Sól. Urb. (2016 a 2020)	Todos os materiais descartados pelo consumo humano (de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de varrição) e após o tratamento adequado de separação e preparação, são enviados aos aterros.
	AD – Áreas Degradadas (2021)	Quantidade e qualidade da capacidade atual e futura do solo para produção vegetal
	ACC – N° Áreas Contaminadas Cadastradas (2015 a 2020)	Indicador de todas as áreas contaminadas do estado de São Paulo, e as atividades são: comerciais, industriais, resíduos, postos de combustíveis e acidentes/desconhecidos ou agricultura.

INDICADORES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA	IQA – Índice de Qualidade das Águas (2010, 2015 a 2022)	Desenvolvido para avaliar a qualidade da água em seu estado bruto, visando o abastecimento público e o tratamento das águas.
	PDA – Perda de Distribuição De Água (2022)	Indicador que visa mensurar a quantidade de água que é perdida desde sua retirada até a distribuição ao usuário.
	DVM – Disponibilidade per capita – Vazão média em relação à população total (m <sup>3</sup> /hab. Ano) – (2016 a 2020)	Expressa a vazão média de longo período por habitante/ano.
	CH <sub>2</sub> O – Consumo de água per capita (2022)	Índice que demonstra o volume de água consumida, em termos de litros consumidos por habitante/dia.
	VOS – Vazão outorgada subterrânea em relação às reservas (2016 a 2020)	Vazão regularizada de águas subterrâneas referente a reservas passivas de exploração.
	ICTEM (2015 a 2020)	Indicador de coleta e tratabilidade de esgoto da pop. Urbana e município.
	IPAS (2015 a 2021)	Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas.
	VOSQ710 – Vazão outorgada superficial em relação à vazão mínima superficial (Q7,10%) – (2016 a 2020)	Vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência, é a média das vazões mínimas obtidas nos sete dias mais críticos de um ano hidrológico qualquer.
	VOTQ95 – Vazão outorgada total em relação à Q95% ( 2016 a 2020)	Vazão de referência determinada estatisticamente, e representa uma vazão mínima de um curso de água, tendo em vista ser superada em 95% do tempo.
	IAU – Índice de atendimento urbano de água (2015 a 2020)	Porcentagem da população residente na área urbana do município que é atendida

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2024.

Traçando um paralelo dos indicadores da ONU e os indicadores socioambientais utilizados neste projeto, fora criado uma espécie de peso na avaliação deste estudo, frente a criação de um índice, chamado de ISSBH (Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas), na qual trataremos adiante. Assim, destaca-se os seguintes indicadores e suas finalidades:

- **AVNR:** Área de Vegetação Nativa Remanescente e a Classe do Índice de Cobertura Vegetal (%) em relação à superfície da UGRHI (Área de Drenagem (ha) - cobertura vegetal primária ou em regeneração, que não esteja em regime de pousio, tal como definido no art. 3º, inciso XXIV da Lei Federal nº 12.651/12) (IBRAM, 2018);
- **DVM:** Disponibilidade per capita - Vazão média em relação à população total ( $m^3$ /hab.ano) - vazão média de longo período por habitante/ano, além disso, este índice é utilizado pela ONU (Organização das Nações Unidas), onde definem as seguintes situações:  $< 1.000 m^3$ /hab/ano – Situação de escassez; 1.000 a  $1.700 m^3$ /hab/ano – Situação de estresse hídrico, realizando uma classificação dos países: muito pobre, pobre, regular, rico e muito rico (LOTUFO CONEJO *et al.*,2009);
- **IDHM:** Índice de desenvolvimento humano municipal - indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda, relevante para fornecer informações sobre a unidade político-administrativa aos cidadãos de cada município (IPEA, 2023);
- **CH20:** Consumo de água per capita l/hab./dia - volume de água consumida, em termos de litros consumidos por habitante ao dia é essencial para o planejamento e projetos de sistemas de abastecimento de água (CETESB, 2022).

De acordo com o comparativo entre os indicadores utilizados neste projeto e os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU (2015), no intuito do objetivo final na desta análise ser a sustentabilidade, foi proposta a seguinte classificação:

- Os indicadores **DVM E CH20** - Objetivo 6 - Água Potável e Saneamento (Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos);
- O indicador **AVNR** - Objetivo 15 - Vida Terrestre (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade);
- O indicador **IDHM** - Objetivo 4 - Educação de Qualidade (Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao

longo da vida para todos); objetivo 8 - Emprego Decente e Crescimento Econômico (Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos); objetivo 3 - Saúde e Bem-Estar (Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades).

Ou seja, os 4 indicadores trabalhados neste projeto (**DVM; CH20; AVNR e IDHM**) possuem um enquadramento de cinco Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, sendo: objetivo 3; objetivo 4; objetivo 6; objetivo 8; objetivo 15, conforme mostrada da Figura 6.

Após este comparativo e classificação entre os indicadores selecionados por este projeto e os indicadores (ODS) confeccionados pela ONU, foi criado um peso maior na análise comparativa entre as UGHRI's, com a finalidade de um tratamento qualitativo a estas variáveis, em prol do desenvolvimento sustentável.

Foram utilizados os métodos de pesquisa quantitativo e qualitativo. A parte quantitativa é formada pelo conjunto de probabilidades totais e condicionais. Já a qualitativa se preocupa com o nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja, ela desenvolve um entendimento de determinado assunto ou problema, através da perspectiva do indivíduo.

### 3.3 Análise de Dados

A normalização das variáveis, nos permite a transformação em escala da distribuição de uma variável para poder comparar os conjuntos de elementos e a média, retirando os efeitos das influências. Ou seja, a normalização prepara os dados para que sejam aplicados para o aprendizado da máquina.

Para atingir o objetivo de separação e seleção dos indicadores, foi utilizado o método estatístico de análise de componentes principais (sigla em inglês, PCA) – (matriz de correlação), levando em consideração, que para criar o gradiente junto as variáveis significativas e informativas que apresentaram o índice de correlação de Pearson ( $> 0,75$ ) (VIEIRA, 2019). Assim, foram selecionados dez indicadores, que perante a análise de PCA, demonstraram-se os mais relevantes, e dentre eles destacamos: VOSQ710; AIA; AVNR; DVM; IDHM; PIB; PDA; DD; CH20 e IQA (ruim e péssimo). Estes indicadores foram separados em dois grupos pela PCA, sendo: cinco indicadores estiveram relacionados positivamente ao eixo X (VOSQ710; AVNR; IDHM; PIB e DVM) e cinco indicadores negativos ao eixo X (AIA; CH20; DD; PDA e IQA).

Após procedimentos de normalização dos dados, bem como a identificação de variáveis explanatórias, foram realizadas regressões lineares visando averiguar a relação entre as variáveis explanatórias (indicadores sociais, indicadores da qualidade ambiental e da água). Os cálculos, bem como as análises estatísticas, foram efetuados no software R versão 3.1.1 (TEAM, 2010). Foram também utilizadas as análises ANOVA e Tukey. Sendo que, a análise de variância ou ANOVA, é um método estatístico utilizado para comparar e testar a igualdade de três ou mais médias populacionais, ou mais grupos de amostras independentes (MACIEL, 2021).

### **3.4 Proposta do Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH)**

A partir dos 10 indicadores fortemente correlacionados e detectados pela PCA, foram utilizados para calcular o Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH). Primeiramente foi realizada a normalização dos indicadores para normal padrão, que seria a junção de todos os dados subtraindo pela média e dividindo pelo desvio padrão.

O índice é uma somatória dos indicadores que correspondem positivamente ao eixo X e a somatória dos indicadores inversos ao eixo X, que são: VOSQ710; IDHM; PIB; AVNR; DVM; AIA; CH20; DD; PDA e IQA. Segundo fórmula abaixo:

$$\text{ISSBH} = \frac{((AVNR*2)+(DVM*2)+(IDHM*2)+(CH20*-2)+(VOSQ710)+(PIB)+(PDA*-1)+(AIA*-1)+(DD*-1)+(IQA* -1))}{14}$$

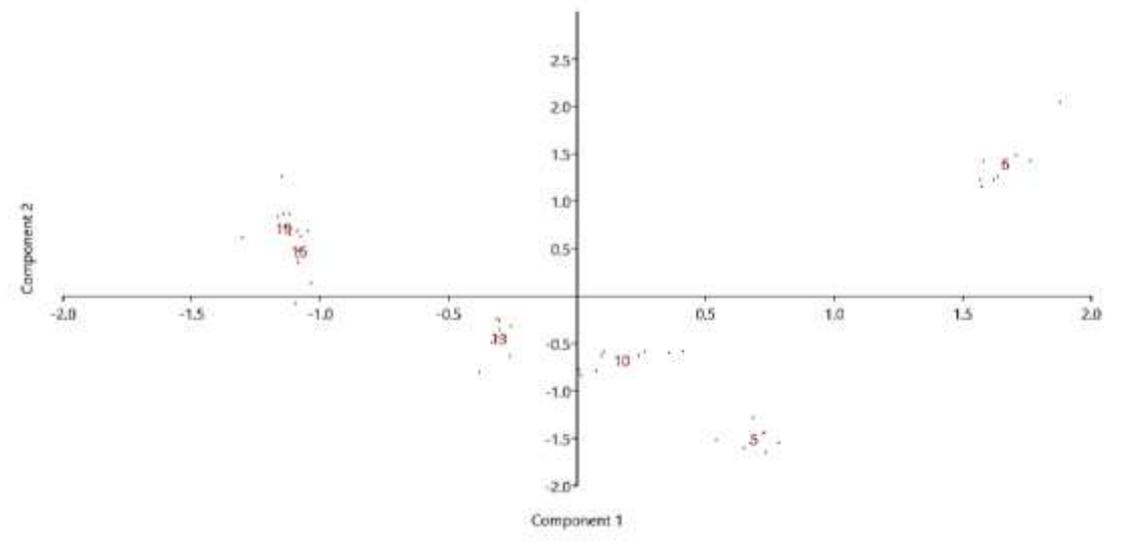
O índice varia de (-3) a (+ 3), ou seja, classificando os dados com maior proximidade ao (+3) significa maior nível de sustentabilidade, e (-3) seria o menor nível de sustentabilidade.

#### 4. RESULTADOS

Utilizou-se a PCA para saber qual os indicadores são os mais informativos, e através da análise de vinte indicadores socioambientais selecionados, apenas dez indicadores foram relevantes e completos, na qual destaca-se: VOSQ710; AIA; AVNR; DVM; IDHM; PIB; PDA; DD; CH20 e IQA.

Conforme a Análise de Componentes Principais, demonstrada na Figura 7, os dois primeiros eixos representaram 70% (eixo I: 56% e eixo II: 14%). Na qual, o eixo 1 teve sua demonstração positiva (próxima +3), e sua demonstração negativa (próxima -3).

**Figura 7** - Análise PCA – Indicadores Socioambientais pertencentes às UGRHI's 5; 6; 10; 13; 16, entre os anos de 2010 a 2022 - (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Através do processo para detectar os indicadores informativos, e após o resultado do PCA, foi realizada a média de todos os indicadores determinantes por UGRHI. Assim, permitiu que fosse realizada a análise do modelo gráfico da média dos indicadores por UGRHI.

Diante deste cenário, sequencialmente será analisada cada uma das seis Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, pertencentes a Bacia Hidrográfica do Tietê, e a média de seus indicadores relevantes em modelo gráfico.

#### 4.1 UGRHI 5

A UGRHI 5 é uma região classificada como (I) industrial, e mediante sua análise gráfica é possível verificar que os indicadores DVM (- 0,760), CH20 (- 1,300) são pontuações negativas, que são indicadores de consumo e vazão de água, ambos indicadores de disponibilidade hídrica, e tendo peso baixo para esta UGRHI. Já o indicador VOSQ710 está próximo de (1), com pontuação de (0,773), e o indicador PIB próximo de (2), tendo um peso maior. Já o indicador AVNR, sugere uma característica razoável da região, referente às áreas de vegetação remanescente, sendo apenas a terceira colocada dentre as demais regiões. (Gráfico 1).

**Gráfico 1** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 5, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A UGRHI 5, representa a região do estado de São Paulo com o maior PIB (1,816), e segunda região de maior índice em desenvolvimento humano municipal (IDHM), ambos indicadores socioeconômicos. Também, podemos identificar uma região em desequilíbrio de gestão e políticas públicas dos recursos hídricos, pois referente a disponibilidade hídrica, possui vazão média relativamente baixa em comparação ao restante das unidades pertencentes a bacia hidrográfica do Tietê.

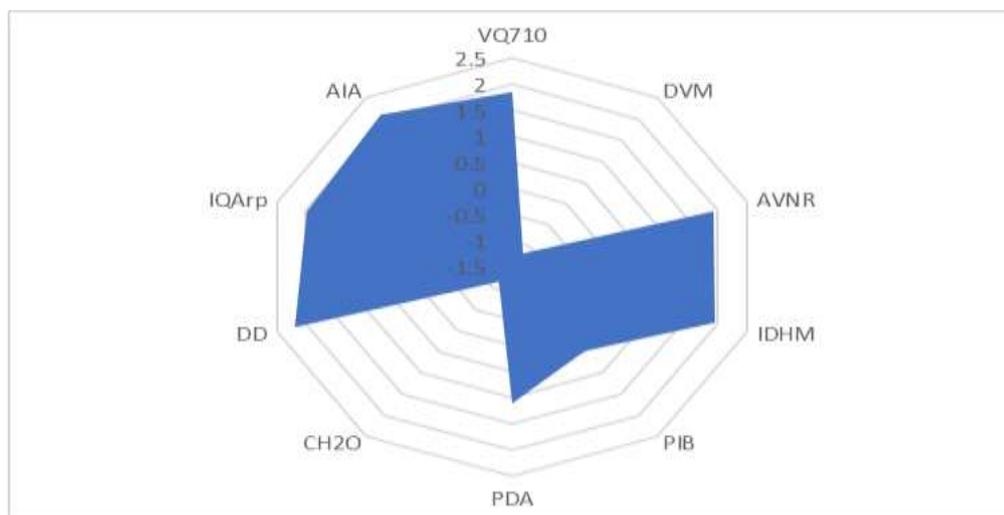
Esta UGRHI possui uma alta pontuação no quesito econômico-social, principalmente IDHM (0,649) e PIB (1,816), mesmo tendo uma pontuação de disponibilidade hídrica mediana.

## 4.2 UGRHI 6

Com base na análise gráfica da UGRHI 6, os indicadores DVM (-1,178) e CH20 (-1,152), são próximos de 0, ou seja, tem peso baixo e uma pontuação ruim. Já o indicador IQArp é próximo de (2), ou seja, a média é alta, referente à qualidade da água. O indicador CH20, como citado anteriormente, referente ao consumo de água per capita tem pontuação baixa, no entanto o indicador VOSQ710 possui pontuação alta, próxima de 2,0, sugerindo que a UGRHI tem uma disponibilidade de vazão alta e consumo baixo, ou seja, desigualdade na distribuição. Esta é uma área localizada na região metropolitana do Estado de São Paulo que é classificada como (I) industrial, tendo maior grau de desenvolvimento e infraestrutura, porém ao mesmo tempo com alto grau de desigualdade e distribuição populacional, haja visto o indicador D.D com pontuação de (2,201), que indica a densidade demográfica, mostrando ser uma variável relevante e com pontuação acima de (2), juntamente com o indicador AIA (2,104), atrelado ao volume de avaliações de impacto ambiental.

Destaca-se também dois indicadores relevantes na região da UGRHI 6, um relacionado a indicadores ambientais e o outro socioeconômicos, respectivamente: o indicador AVNR (1,928), referente a vegetação nativa remanescente, e o indicador IDHM (1,945), referente ao desenvolvimento humano (longevidade, educação e renda), possuem pontuação próxima de 2,0. Ou seja, a região da UGRHI 6, juntamente com a UGRHI 5, são as mais desenvolvidas do estado de São Paulo (Gráfico 2).

**Gráfico 2** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 6, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Perante as demais UGRHI's, a UGRHI 6 possui uma das melhores pontuações de toda a bacia. Pois, apesar de estarmos analisando uma área completamente industrial e maior parte urbana, paralelo aos indicadores ambientais e de disponibilidade hídrica, nos sugerem uma região deficitária no gerenciamento dos recursos hídricos, mas com destaque para o indicador de vegetação nativa remanescente.

### 4.3 UGRHI 10

Na análise da UGRHI 10, que é classificada como (I) industrial, com base em seus indicadores relevantes, pode-se identificar que os indicadores AVNR (0,347) e PDA (0,466) têm peso maior, sendo próximos de (1). Ou seja, boa pontuação de indicador ambiental nas áreas de vegetação nativa remanescente, mas pontuação ruim referente a perda de distribuição de água. No entanto, a variável VOSQ710 (-0,038), possui pontuação próxima de (0), evidenciando uma região de nível baixo na vazão média de água per capita.

Na UGRHI 10, também podemos observar o indicador IQArp (0,046), com pontuação de próxima de 0, indicando um índice de qualidade da água razoável (Gráfico 3).

**Gráfico 3** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 10, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



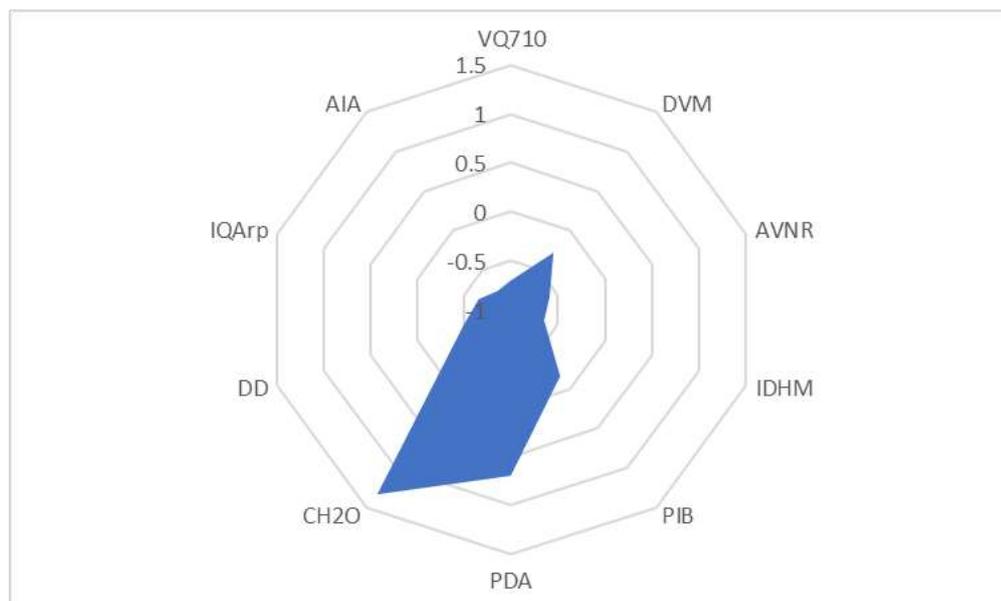
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4.4 UGRHI 13

A UGRHI 13 (Tietê-Jacaré), caracterizada pela agricultura e indústria e classificada como (EI – em industrialização), possui dois indicadores mais relevantes, referentes aos indicadores de disponibilidade hídrica, sendo um indicador de consumo d'água per capita - CH20 com pontuação de (1,324), que tem maior peso, sendo próxima de 1,5, juntamente com o indicador de perda de distribuição água, o PDA, com pontuação de 0,696. Já os demais indicadores não possuem destaque na análise gráfica e estatística.

Podemos entrever, mediante a análise destes indicadores, que estamos em uma região de relevante disponibilidade hídrica, mas com uma gestão e planejamento dos recursos hídricos questionável, vide Gráfico 4, pois a perda e consumo de água são os mais significativos.

**Gráfico 4** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 13, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

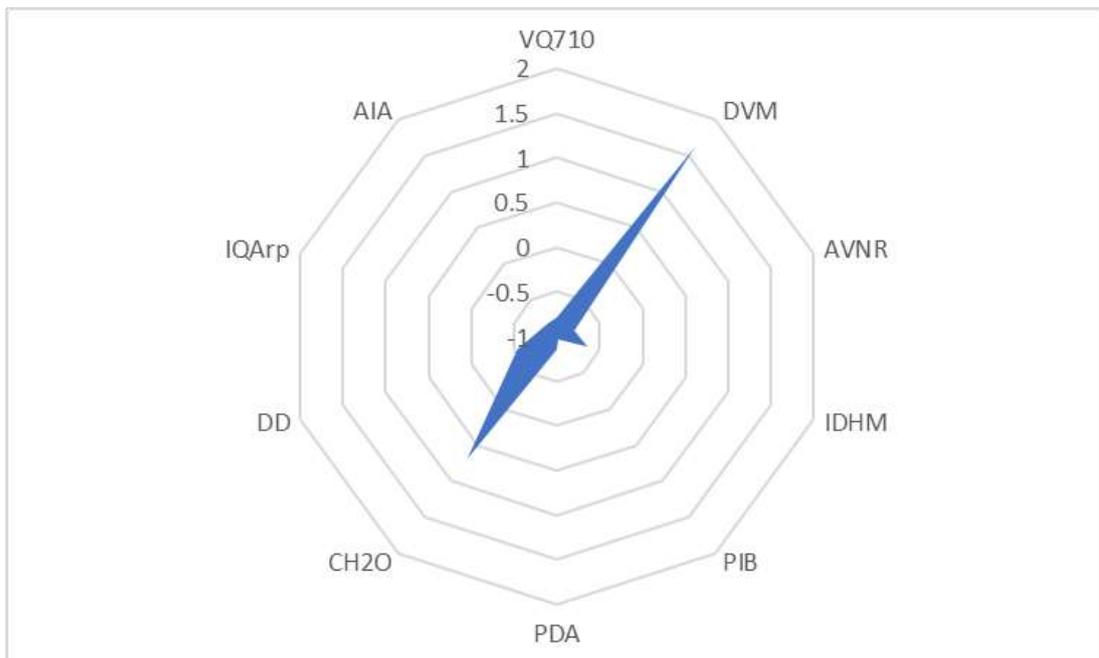
#### 4.5 UGRHI 16

Com base na análise gráfica da UGRHI 16 (Tietê-Batalha) e seus indicadores, nos mostram que o indicador DVM (1,636), referente a disponibilidade hídrica, é o mais relevante nesta região com pontuação próxima de 2, paralelamente a outro indicador de disponibilidade hídrica, a CH20 (0,685), referente ao consumo de água per capita, tem pontuação próxima de 1. Já os demais indicadores apresentam uma relevância baixíssima.

A região analisada possui alta produção do setor agropecuário, possibilitando entrever e questionar o alto consumo de água, mediante sua produção e sua sustentabilidade.

Outro ponto a destacar são os indicadores PIB (- 0,969) e IDHM (- 0,648), ambos indicadores socioeconômicos, terem pontuação negativa e de baixa relevância nesta região, ou seja, estes indicadores mostram uma região com deficiência socioeconômica (Gráfico 5).

**Gráfico 5** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 16, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4.6 UGRHI 19

A UGRHI 19 (Baixo-Tietê), caracterizada pela agropecuária, fazendo parte da divisa do estado de São Paulo com o estado do Mato Grosso do Sul, possui indicadores socioambientais determinantes, tais como: os indicadores de disponibilidade hídrica DVM (0,996); CH20 (0,743); PDA (- 1,759), com pontuações próxima de 1,0, de maior peso, indicando que a região disponibiliza o recurso hídrico de forma relevante, tanto na vazão quanto no consumo, já referente a perda de distribuição percebe-se que a pontuação é próxima de -2,0. Já o indicador AIA (- 0,404), mostra-se uma variável ambiental que quantifica as avaliações de impactos ambientais, e revela um número baixo na região.

No entanto, a região possui um indicador socioeconômico considerado baixo, que seria o IDHM (- 0,648), identificando que na região o desenvolvimento é deficitário (Gráfico 6).

**Gráfico 6** - Indicadores socioambientais da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos UGRHI 19, entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).

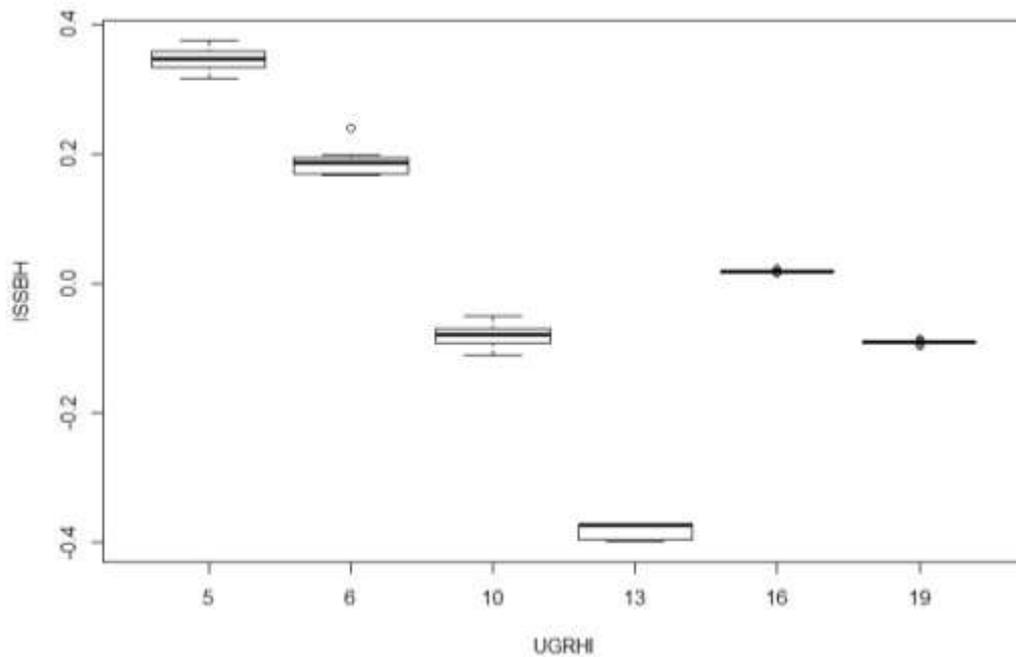


Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

#### 4.7 Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH)

Verificou-se quais as variáveis são as mais relevantes e com mais peso, ou seja, qual indicador tem mais ou menos destaque de determinada UGRHI, e posteriormente classificando-as como mais sustentável ou menos sustentável, que veremos no Gráfico 7. Após a análise gráfica dos indicadores socioambientais de cada UGRHI, apresenta-se o gráfico do Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH).

**Gráfico 7** - Boxplot do Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH) calculado para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 05; 06; 10; 13; 16; 19), entre os anos de 2010 a 2022 – (Plataforma R).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

De acordo com a análise da Figura 14, referente ao Índice de Sustentabilidade Socioambiental de Bacias Hidrográficas (ISSBH), podemos identificar as diferenças entre as seis Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos apresentadas e posteriormente identificando o gradiente de toda a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, e sua determinação de-se do Alto-Tietê (UGRHI 6) ao Baixo-Tietê (UGRHI 19).

A análise de variância constatou que as UGRHI's se diferem, estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Depois, realizando o Teste Tukey (comparação a posteriori) mostrou que as UGRHI's 19 e 10 se assimilam.

Primeiramente destacamos a UGRHI 5, com pontuação positiva e mais elevada, com 0,374, com a percepção de que existe mais equilíbrio na relação entre as políticas públicas socioeconômicas, ambientais e de gerenciamento de recursos hídricos. Esta região do PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiá) é caracterizada como (I) - Industrial, acerca para um maior grau de sustentabilidade.

No extremo oposto a UGRHI 5, temos a UGRHI 13, região denominada como Tietê-Jacaré (caracterizada como (EI) - Em Industrialização), tendo uma pontuação negativa quanto ao ISSBH, de - 0,249. Ou seja, apresentou uma pontuação baixa, a menor da bacia, indicando um baixo grau de sustentabilidade. A UGRHI 13 é uma região com indicativos de alta

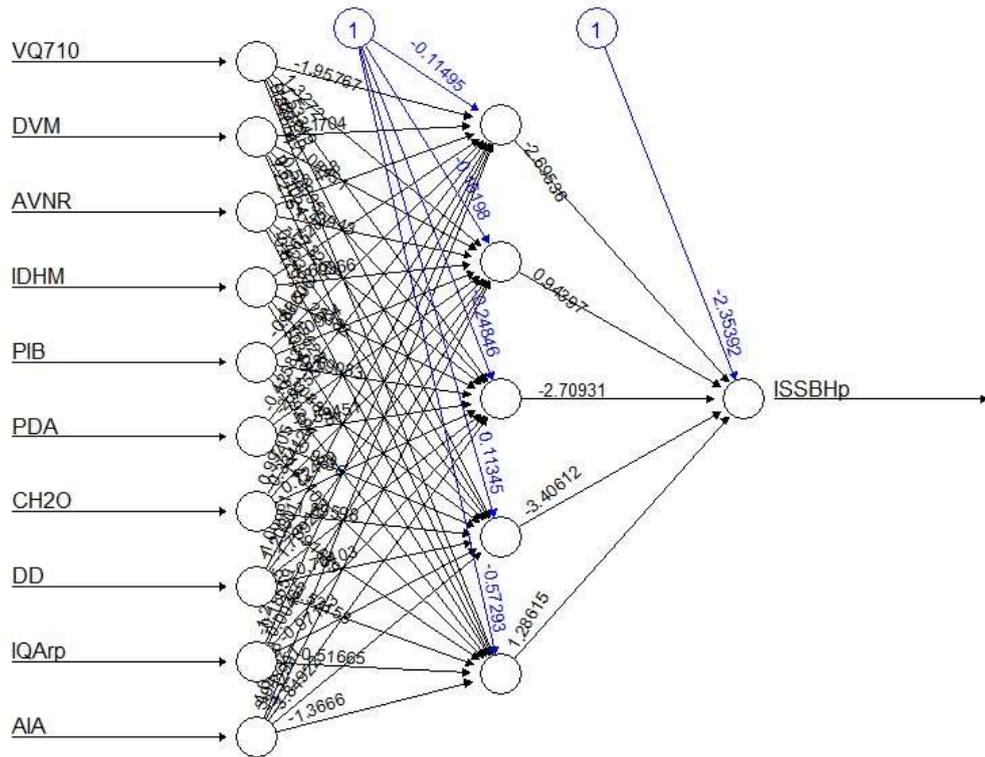
disponibilidade hídrica, todavia, é também uma região com grande perda de distribuição de água a população e demais consumidores, apontando para uma certa deficiência na gestão dos recursos hídricos.

As UGHRI's 6, 10, 16 e 19, possuem pontuação próximas de 0, porém algumas negativas outras positivas, tais como: a UGRHI 6 (caracterizada como: I – Industrial) com pontuação de 0,238 e a UGRHI 10 (caracterizada como: I – Industrial) com pontuação de - 0,051 representando as negativas, além da UGRHI 16 (AG – Agropecuária), pontuação próxima de 0,021 e a UGRHI 19 (AG – Agropecuária) pontuação abaixo de - 0,087, representando as positivas. Ressalta-se que as UGRHI's 19 e 10 se assemelham em relação ao ISSBH, como demonstrado anteriormente, pois mediante a análise de variância, a fim de calcular a média final, nos apresentou o valor de 0,821, mostrando similaridades entre ambas.

#### **4.8 Aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs)**

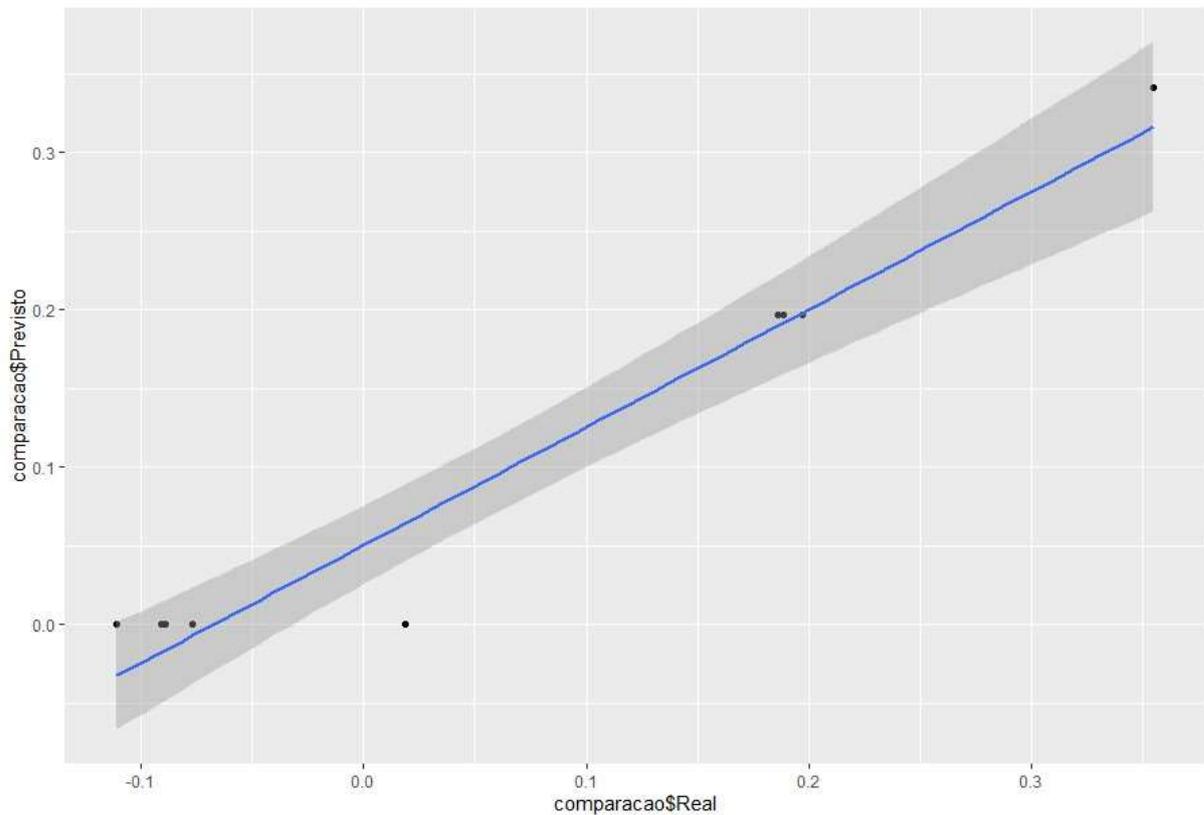
De acordo com o resultado da aplicação das RNAs foi detectada uma margem de erro de (0,705), que é considerado baixo, mostrando ser uma rede robusta e explicativa. Ressalta-se que a rede possui (5) neurônios na camada intermediária que a estrutura preconiza. Na análise gráfica de Redes Neurais Artificiais, tivemos o seguinte resultado (Gráfico 8).

**Gráfico 8 - Aplicação – Redes Neurais Artificiais - (Plataforma R).**



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A análise de regressão linear identificou uma relação entre os valores do índice real e os valores do índice previsto. Conforme Gráfico 9.

**Gráfico 9** - Comparação – Real x Previsto – (Plataforma R).

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Diante deste cenário, os indicadores resultaram em um índice (real), e posteriormente criou-se uma rede neural artificial, que inserindo os parâmetros das variáveis, automaticamente também gerou outro índice (previsto). Após a rodagem desta rede, constatou-se que ela cria índices similares ao real.

Os índices, previsto e real, mostraram que existe uma relação significativa, ou seja, interpretam que os valores reais e os valores previstos se ajustam. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da rede teve um valor de 0,9207, ou seja, 92% dos pontos foram precisos.

## 5. DISCUSSÃO

A UGRHI 5 foi classificada através da proposta do ISSBH, como a região mais sustentável da bacia hidrográfica do Tietê. No que diz respeito à qualidade das águas superficiais, segundo Spínola (2001), observa-se que vários pontos dos principais cursos de água da UGRHI 5 encontram-se degradados, que são resultados originários de ações poluidoras, através de lançamento de esgotos urbanos e industriais. No que diz respeito à qualidade das águas subterrâneas, estas são relativamente de boa qualidade, ocorrendo apenas problemas de degradação em pontos isolados, assim, sugere-se que existam alguns problemas na qualidade da água distribuídas pela UGRHI 5, demonstrando dificuldades no tratamento das águas dos mananciais, bem como a necessidade de um controle maior nos sistemas de abastecimento de água (SPÍNOLA, 2001). Na bacia do Piracicaba, vale destacar o aumento de 20% para 25 e 28% nas áreas de preservação permanente (MELLO *et al.*, 2020). Outro fator de destaque, seria que a maior demanda de água na UGRHI 5 seja a industrial, contudo, a demanda para o abastecimento público também possui dados relevantes e impactantes, identificada já no ano de 2020, devido ao crescimento populacional, que segundo a Agência PCJ, “[...] atualmente, para atender as demandas hídricas dos usuários, é preciso utilizar 90% da vazão de referência das bacias” (AGÊNCIA PCJ, 2020, p. 51). Isso sucede em função das Bacias da UGRHI 5 estarem ligadas ao Sistema Cantareira, onde fornecem uma quantidade de água considerável para a Região Metropolitana de São Paulo, ou seja, o balanço hídrico está atrelado às entradas e saídas de água neste sistema, auxiliando a análise de toda bacia quanto a finalidade de suas águas superficiais e subterrâneas, além do estresse hídrico gerado (CBH-PCJ, 2020).

A região da PCJ, aparenta ser uma região que possui problemas na gestão dos recursos hídricos, como na maior parte da bacia do Tietê, porém diante deste estudo, o ISSBH, classificou esta UGRHI como a mais sustentável dentre as seis UGRHI’s analisadas, e cabe ressaltar que o fator socioeconômico sugere ser determinante nesta análise, com destaque para o indicador PIB desta UGRHI 5.

No entanto, a UGRHI 13, representada de acordo com a proposta do ISSBH, como a região menos sustentável da bacia hidrográfica do Tietê, e mesmo sendo uma região com relevante disponibilidade hídrica, também aparenta ser deficitária na gestão destes recursos. Ao longo do século XX ocorreu uma profunda urbanização, e consequentemente crescimento populacional progressivo nesta Bacia, evidenciando a falta de políticas públicas específicas em prol do desenvolvimento equilibrado no uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos (usos

múltiplos da água) , como no abastecimento urbano, irrigação, usos industriais, mineração, entre outros, em combate aos impactos que contribuem para o aumento das vulnerabilidades desta bacia hidrográfica, pois problemas referentes a infraestrutura foram gerados, além de adversidades atreladas ao espaço físico, como a poluição das águas, destruição da vegetação permanente, erosão e etc. (PERES; SILVA, 2013). Sobre os recursos hídricos subterrâneos, a região da UGRHI 13 apresenta formação dos aquíferos Bauru, Cenozoico, Serra Geral e Guarani, e segundo Tundisi *et al.* (2008) a região apresenta apenas 11,31% de vegetação nativa, esse indicativo mostra uma baixa área de recarga e déficit nas áreas de reflorestamento. Constata-se uma falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos de forma integrada dentre as mais variadas esferas e instituições, federais, estaduais e municipais, paralelo a necessidade de políticas públicas eficientes na manutenção e criação de mais áreas de recarga e reflorestamento, com o intuito de fomentar o desenvolvimento sustentável da bacia, na recarga dos aquíferos e manutenção dos corpos d'água superficiais (PERES; SILVA, 2013).

As UGRHI's 16 e 19 são regiões caracterizadas como “agropecuária”, com alto consumo de água e vazão, além de menor densidade populacional, e nos permite questionar se, o alto consumo é marcado não pela disponibilidade hídrica e acesso para a população total, mas sim para o uso intenso da agricultura. Já na UGRHI 10 (Sorocaba/Médio Tietê), onde recebe águas oriundas da UGRHI 6, destaque-se os conflitos relativos ao uso das águas do Alto Tietê, que são acentuados devido à escassez no tratamento de efluentes domésticos gerados e pela deficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), ressalta-se ainda que atualmente o sistema operacional adotado no Sistema Tietê/Billings pode intensificar estes problemas (CETESB, 2022).

No entanto, mediante a análise entre as UGRHI 5 e 13, nos permite inferir que ambas as regiões possuem deficiência nas políticas públicas voltadas para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, mas com uma vantagem da UGRHI 5 nos indicadores socioeconômicos, além de uma maior porcentagem em áreas de preservação permanente.

Porém, eis alguns questionamentos pertinentes: A pontuação de AIA's é relativamente baixa devido à má fiscalização ou seria um parâmetro preciso para análise da região? O consumo de água é relevante em algumas regiões, e com alta pontuação, e isso seria porque a oferta e a disponibilidade são massificadas, ou as regiões agropecuárias ou em industrialização (UGHRI's 13;16 e 19) consomem um número acima da sua capacidade de manutenção? Cabe ressaltar que outra grande preocupação ambiental nas grandes cidades, como por exemplo na Região Metropolitana, e grande São Paulo, pertencentes a UGHRI 6, seria o aspecto de

gerenciamento dos resíduos e esgotos, pois parte da alimentação e fornecimento de água local (Sistema Cantareira - formado por cinco reservatórios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro), além de recursos para a produção e bens de consumo, serem oriundos de outras localidades (ANA, 2023), ou seja, pode-se questionar a existência destas populações se tivessem que utilizar recursos próprios.

Já quanto a rede neural artificial criada mediante ao índice proposto (ISSBH), apresentou-se como uma ferramenta possível para gestão, pois com a inserção dos dados das variáveis nas redes, o resultado mostrou uma similaridade entre os índices previsto e real. A rede obteve resposta positiva, sendo um primeiro passo de um possível estudo promissor, porém necessitando de mais testes e pesquisas para seu aprimoramento.

Outro fator importante a ser ressaltado é o fato de que indicadores socioeconômicos foram relevantes na análise do ISSBH, mesmo que determinado indicador não esteja atrelado aos ODS da ONU, conseqüentemente não tendo peso 2, e teve alta relevância no resultado final, com destaque para o indicador PIB.

Preconiza-se o uso de novas tecnologias para gestão, com a intenção de agregar e analisar grandes volumes de dados, como a utilização das redes neurais artificiais em diversas aplicações, via a eficiência de redes neurais artificiais na classificação de uso e ocupação do solo (BARROS *et al.*, 2004).

No que diz respeito aos indicadores de sustentabilidade, no mundo contemporâneo existem várias elaborações, tais como: o IBES (1989), o LPI (2016), o ESI (2001), e o indicador de PE (1996). Porém, alguns indicadores dificilmente se encontram integrados e estruturados, a não ser para responder a temas específicos (como a qualidade da água), todavia outros tipos de indicadores (como por exemplo os mais abrangentes - nacionais, federais e etc.), necessitam de um grande esforço de pesquisa para apresentarem concordância e se sustentarem, pois, devido à falta de padronização metodológica, aplicação unificada, equipamentos de qualidade e maior competência técnica na obtenção de elementos com precisão nas localidades economicamente desfavorecidas, e embora a produção e o acesso às informações ambientais estejam em processo evolutivo, a qualidade e precisão dos dados ainda é questionável, ou seja, pode afetar uma avaliação mais concreta e precisa sobre os impactos gerados no meio ambiente (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base neste estudo foi realizada uma abordagem para caracterizar e quantificar uma possível sustentabilidade socioambiental de bacias hidrográficas, integrando indicadores socioambientais de variáveis socioeconômicas, ambientais e de disponibilidade hídrica, para definir e criar, o índice ISSBH. Uma proposta inovadora de análise para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo, mediante a integração de todas as variáveis captadas e analisadas.

Mediante a análise do índice ISSBH e dos indicadores socioambientais referentes a cada UGRHI, nota-se que existe uma situação deficitária envolvendo as políticas públicas de cada região destacada. Porém, de forma geral, entrevemos que a Bacia Hidrográfica do Tietê em sua ampla maioria, possui alta disponibilidade hídrica, mas com perda de distribuição de água relevante nas redes de abastecimento, indicando uma deficiência no gerenciamento dos recursos hídricos. Além do destaque das áreas mais desenvolvidas (econômica-social) terem classificação relevante mediante ao ISSBH, mesmo que alguns lugares possam ser questionáveis, frente a questão do uso dos recursos naturais (como os hídricos) oriundos de outras áreas (como por exemplo: cidade de São Paulo e o sistema Cantareira).

Portanto, mediante a proposta apresentada pode-se classificar as UGRHI's, entre a mais sustentável para a menos sustentável, de forma decrescente: 1) UGRHI 5; 2) UGRHI 6; 3) UGRHI 16; 4) UGRHI 10; 5) UGRHI 19; 6) UGRHI 13. Ressalta-se que as UGRHI's 19 e 10 são praticamente similares e na mesma posição. Ou seja, a UGRHI 5 (PCJ) é a região mais sustentável de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, porém a UGRHI 13 (Tietê-Jacaré) é a região menos sustentável.

Com relação aos indicadores socioambientais deste estudo, pode-se destacar a falta de integração e padronização dos dados prejudicando uma análise mais efetiva, pois seria fundamental para uma compreensão do todo.

Assim, podemos inferir que quando um gestor necessita analisar os dados ambientais e sociais a fim de tomar decisões ou planejar políticas públicas pontuais e específicas, este se depara com um rol de dados desconexos, espaçados e de qualidade incerta, prejudicando a resolução do problema e análise mais assertiva.

Sugere-se uma unificação dos mais variados indicadores sociais, ambientais, econômicos, e etc., além da padronização metodológica na captura, confecção e produção destes elementos e conceitos, desde os âmbitos municipais, estaduais e federais, onde facilitaria

e nortearia os gestores no momento da confecção de indicadores e índices, análise e posterior tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PCJ. **Relatório Institucional da Agência das Bacias PCJ 2020**. Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/institucional2020/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema Cantareira**. Acesso em: 19 nov. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>.

BARROS, G. V. P. de, GOMES, H. B.; SANTOS, F. S. dos. Eficiência de Redes Neurais Artificiais na Classificação de Uso e do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba - SE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 823–833, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/VXzzdSsCHyFRNyv3mFw6FkG/?lang=pt#>. Acesso em: 02 fev. 2024.

BISPO, F. **Expansão de pastagens em terras indígenas triplica em 4 anos e ameaça povos isolados da Amazônia**. Info Amazonia.org. Atualizado em: 24 maio 2023. 2023. Acesso em: 02 fev. 2024. Disponível em: <https://infoamazonia.org/2023/05/04/expansao-de-pastagens-em-terras-indigenas-triplica-em-4-anos-e-ameaca-povos-isolados-da-amazonia/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433. de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial**. 1997. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/551309/publicacao/15755456>. Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Usos da água**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso: 20 fev. 2023.

BRASIL. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. **Diário Oficial**. 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm). Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Mortalidade infantil no Brasil**. Volume 52. out. 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2021/boletim\\_epidemiologico\\_svs\\_37\\_v2.pdf](https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2021/boletim_epidemiologico_svs_37_v2.pdf). Acesso em: 06 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - MMA. **Avaliação de impacto ambiental: caminhos para o fortalecimento do Licenciamento Ambiental Federal: Sumário Executivo/Diretoria de Licenciamento Ambiental – Brasília: Ibama, 2016**.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MPOG. **Indicadores Orientações Básicas Aplicadas à Gestão Pública 1ª Edição Brasília/DF – setembro de 2012**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento/pt-br/search?SearchableText=indicadores>. Acesso em: 02 maio 2023.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Manual de auditoria operacional – TCU. **Indicadores de desempenho e mapa de produtos**. Brasília: TCU, 2000.

CBHPCJ. Comitês PCJ – **Regimento do CBH-PJ1**. 2017. Disponível em: [https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=242&Itemid=220](https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=242&Itemid=220). Acesso em: 15 jan. 2024.

CBHTJ. Comitê de Bacias Hidrográficas do Tietê Jacaré. **Áreas Ambientais Degradadas**. 2021. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/institucional2020/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

CBHPCJ. **Comitê de Bacia Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2020. Acesso em: 07 nov. 2023. Disponível em: [https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio\\_situa%C3%A7%C3%A3o-2020-2019.pdf](https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio_situa%C3%A7%C3%A3o-2020-2019.pdf). Acesso em: 18 set. 2023.

CERH/MG. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. **Deliberação Normativa CERH/MG nº 36, de 23 de dezembro de 2010**. 2010. Padroniza a utilização dos nomes, siglas e códigos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais.

CERQUEIRA, G. A. *et al.* **A crise hídrica e suas consequências**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**. Relatório 2010. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/485fa2fc-726b-4c20-bba7-c205b36c4a05/full>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**. Relatório 2015. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasSuperficiais2015\\_ParteI\\_25-07.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2015_ParteI_25-07.pdf). Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Relatório 2016. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb\\_QualidadeAguasInteriores\\_2016\\_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2016_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf). Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Relatório 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp->

content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Relatório 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Relatório 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Relatório 2020**. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Relatório 2021**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/RAI-2021-Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Publicações e Relatórios – Águas Interiores**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CHESNAIS, F. **A mundialização do capital**. São Paulo: Xamã, 1996.

COBB, C.; GOODMAN, G. S.; WACKERNAGEL, M. **Why bigger isn't better: the genuine progress indicator - 1999 update**. San Francisco, CA: Redefining Progress, 1999.

DAILY, H. E.; COBB JR, J. B. **For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future**. Beacon Press, Boston, MA, 1989.

DAILY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics: principles and practice**. Washington, DC: Island Press, p. 454, 2004.

DAE-BAURU. Departamento de Água e Esgoto de Bauru. **Distribuição de água no mundo. Bauru**, 2021. Disponível em: <https://www.daebauru.sp.gov.br/ambiente.php?item=RH3>. Acesso em: 02 de ago. de 2023.

DIEHL, P. F.; GLEDITSCH, N. P. Controversies and questions. *In: Environmental conflict*. Routledge, p. 1-9, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Marco Referencial em Serviços Ecosistêmicos**. Brasília, DF 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/200590/1/Servicos-ecossistemas-uma-abordagem-conceitual-cap-1-2019.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.

ESTRUTURA que cedeu e deixou 5 mortos em Araraquara foi vistoriada em outubro, diz prefeito. **G1 São Carlos e Araraquara**, Publicado em: 29 de dez. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2022/12/29/estrutura-que-cedeu-e-deixou-mortos-em-araraquara-foi-vistoriada-em-outubro-diz-prefeito.ghtml>. Acesso em: 18 set. 2023.

ESTY, Daniel C. *et al.* **Environmental performance index**. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, v. 382, p. 1-68, 2008.

FERREIRA, H. R. S.; CASSIOLATO, M; M. de M. C.; GONZALEZ, R. H. S. **Uma experiência de desenvolvimento metodológico para avaliação de programas: o modelo lógico do programa segundo tempo**. Brasília, 2009.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman Editora, 2001.

HIRATA, Ricardo *et al.* **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: IGc/USP. 2019. DOI: 10.11606/9788563124074. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-60962619>.

HOGAN, D. J. Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável. Lua Nova: **Revista de Cultura e Política**, n. 31, p. 57–78, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-64451993000300004>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2022. Acesso em: 02/05/2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese dos indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro, 2008.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Museus. Brasil Ambiental. **Definições Básicas**. 2018. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/definicoes-basicas/>. Acesso em: 19 set. 2023.

IGAM. Instituto Mineiro da gestão de Águas. **Portaria IGAM n° 48, de 04 de outubro de 2019**. Acesso em: 17 jun 2023. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>

IPE. Instituto de Pesquisas Ecológicas. **Serviços Ecosistêmicos e a produção de água no Sistema Cantareira**. Data: 31 de maio de 22. 2022. Disponível em:

<https://semeandoagua.ipe.org.br/servicos-ecossistemas-e-a-producao-de-agua-no-sistema-cantareira/>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Produto interno Bruto (PIB) per capita**. 2022. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38375#:~:text=O%20PIB%20per%20capita%20%C3%A9,se%20todos%20recebessem%20partes%20iguais>. Acesso em: 30 de ago 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. 2021. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 30 de ago 2023.

KOVÁCS, Zsolt László. **Redes neurais artificiais**. Editora Livraria da Física, 2006.

KUMAR, Manoj *et al.* Indicator-based vulnerability assessment of forest ecosystem in the Indian Western Himalayas: An analytical hierarchy process integrated approach. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107568, 2021.

LETRAS AMBIENTAIS. **O fenômeno que causou tragédia por inundações no litoral norte de São Paulo**. ISSN 2674-760X. Disponível em: <https://www.letrasambientais.org.br/posts/o-fenomeno-que-causou-tragedia-por-inundacoes-no-litoral-norte-de-sao-paulo>. Acesso em: 06 jun. 2023.

LOTUFO CONEJO, João Gilberto *et al.* Sobre um índice de disponibilidade hídrica aplicável à gestão dos recursos hídricos. 2009. **Anais.... In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Data: 15/06/2009. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/86d54c77ce6b54ec0e65aa3cfeae4825\\_c36373eaae96149566fd59126b7e2f24.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/86d54c77ce6b54ec0e65aa3cfeae4825_c36373eaae96149566fd59126b7e2f24.pdf). Acesso em: 06 jun. 2023.

MACIEL, F. **Análise de Variância (ANOVA)**. Blog Prof. Fernanda Maciel. 2021. Disponível em: <https://blog.proffernandamaciel.com.br/analise-variancia-anova/>. Acesso em: 06 jan. 2024.

MARENGO, José A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista Usp**, n. 106, p. 31-44, 2015.

MEA. Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis**. 2005.

MELLO, de Kaline *et al.* **Mudanças na cobertura de vegetação nativa do estado de São Paulo com a restauração de áreas de preservação permanente**. Geolab – Esalq USP em parceria com a SOS Mata Atlântica. Decreto n. 65.182 de 16/09/2020. Acesso em: 02 out. 2023. Disponível em: <https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/%C3%8Dntegrada-nota-t%C3%A9cnica.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2024.

MS. Ministério da Saúde. Acesso em: 22 de jul. 2023. **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da>

atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/portarias/portaria-no-2914-de-12-de-dezembro-de-2011/at\_download/file.

NAHAR, K. Artificial Neural Network. **COMPUSOFT**, v. 1, n. 2, p. 25–27, dez. 2012.

NAKAMURA, M.; NAKAJIMA, T. **Lake Biwa and its Watersheds: a Review of Lake Biwa Research**. Institute, 2002.

NETO CESAR, J. C. A crise hídrica no Estado de São Paulo. **GEOUSP Espaço E Tempo**. 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/101113/195324>. Acesso em: 12 set. 2023.

NOSSO PLANETA. Colin Butfield; Alastair Fothergill; Keith Scholey. Reino Unido. **Netflix**, 2019. Streaming.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS**. 13 de outubro de 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org>. Acesso em: 06 jun. 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Rio+20 - O Futuro Que Queremos**. 2012. Disponível em: [https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/portugues/eventos/Rio\\_20\\_Futuro\\_que\\_queremos\\_guia.pdf?view=1](https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/portugues/eventos/Rio_20_Futuro_que_queremos_guia.pdf?view=1). Acesso em: 06 jun. 2023.

ONU. United Nations Organization. **United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division**. Global Population Growth and Sustainable Development; United Nations: New York, NY, USA, 2021.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. DA. Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 349–362, maio 2013.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Desenvolvimento Humano e IDH**. [s.d]. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/idh#:~:text=O%20%C3%8Dndice%20de%20Desenvolvimento%20Humano,%3A%20renda%2C%20educa%C3%A7%C3%A3o%20e%20sa%C3%BAde>. Acesso em: 10/11/2022.

PORTO, R. L. L. (Ed.). **Fundamentos para a Gestão da Água**. FEHIDRO, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2012. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/05/livro-Fundamentos-da-Gestao-da-agua-sma.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

SANTOS, T. S. dos. Globalização e exclusão: a dialética da mundialização do capital. **Sociologias**, p. 170-198, 2001.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo – Alesp. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991.** (Atualizado até a Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016) (Projeto de Lei nº 39, de 1991, do Deputado Sylvio Martini). Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1991. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos.** 2022. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2023/06/QualidadeAguasSubterraneas-2019-2021\\_F.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/13/2023/06/QualidadeAguasSubterraneas-2019-2021_F.pdf). Acesso em: 20 nov. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Relatório 2019.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Relatorio-da-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.663/1991.** Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>.

SICHE, Raúl *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & sociedade**, v. 10, p. 137-148, 2007.

SIGRH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Relatório Situação dos Recursos Hídricos.** Acesso em: 10 out 2023. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursoshidricos>.

SIGRH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Divisão Hidrográfica.** 2021. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>. Acesso em: 18 set. 2023.

SILVA, V. M.; DE LUCENA, W. G. L. Contabilidade ambiental: análise da participação no índice de sustentabilidade empresarial (ISE) e a rentabilidade das empresas listadas na [B] 3. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 19, n. 2, p. 109-125, 2019.

SIQUEIRA-BATISTA, Rodrigo *et al.* As redes neurais artificiais e o ensino da medicina. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 38, p. 548-556, 2014.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Saneamento.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>; [http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua\\_esgoto/mapa-agua](http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-agua). Acesso: 05 mai. 2023.

SPÍNOLA, Ana Luiza *et al.* **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – UGRHI 5.** FSP/USP; Saneamento Ambiental; Núcleo de Informações em Saúde Ambiental.

Faculdade de Saúde pública da Universidade de São Paulo, 1º semestre de 2001. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/319.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

SPÖRL, C.; CASTRO, E.; LUCHIARI, A. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 21, p. 113-135, 2011.

STRASSBURG, B.N *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de Indicadores de Sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, v.15, n.1, p.84-95, jan-abr 2006.

TEAM, R. Development Core. R: **A language and environment for statistical computing.** (No Title), 2010. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 20 fev. 2024.

TRIVELLATO, G.M.L. **Sistema de avaliação ponderada da multifuncionalidade da agricultura: seres humanos e serviços ecossistêmicos.** 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI. **A Água.** São Carlos, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26626/978-65-5668-005-7/B0001>. Acesso em: 20 fev. 2024.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; RODRIGUES, S. L. **Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa).** São Carlos: IIE. 2003.

TUNDISI, José Galizia et al. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estud. Av. São Paulo**, v.22, n.63, p.159-172, 2008.

TURNER, B. L. The earth as transformed by human action. **The Professional Geographer**, v. 40, n. 3, p. 340-341, 1988.

UNDP. United Nations Development Programme. **Human development report 1990.** New York; Oxford, 1990.

USGS. United States Geological Survey. "The World's Water". In: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources". In: Peter H. Gleick (editor), **Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources** (Oxford University Press, New York). 1993. Disponível em: <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>. Acesso em: 02 fev. 2023.

VIEIRA, Sonia. **Fundamentos de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

VIEIRA, Rita Marcia da Silva Pinto *et al.* Socio-Environmental Vulnerability to Drought Conditions and Land Degradation: An Assessment in Two Northeastern Brazilian River Basins. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 8029, 2023.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. New society publishers, 1998.

WWF. World Wildlife Fund. **Living Planet Index**. Prepared by the Zoological Society of London. A method developed by ZSL and WWF. 2016. Disponível em: [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/lpi\\_technical\\_supplement\\_2016.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/lpi_technical_supplement_2016.pdf). Acesso em: 10 out. 2023.