



## **Estudo de Indicadores de Sustentabilidade e de Gestão Hídrica nos Municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos**

**Júlia Ramos Protásio**

Doutoranda, UFSCAR, Brasil  
eng.juliaprotasio@gmail.br

**Katia Sakihama Ventura**

Professora Doutora, UFSCAR, Brasil  
katiasv@ufscar.br

**RESUMO**

A compreensão e a gestão eficaz da quantidade e qualidade da água em escala regional, especialmente em regiões de bacias, são de suma importância para garantir a resiliência de um município diante das mudanças climáticas. Nesse contexto, o objetivo foi estudar os indicadores de sustentabilidade e de gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na região central de São Paulo (SP). O método baseou-se na caracterização da área de estudo por meio do levantamento bibliográfico e análise documental de informações e dados secundários, de caráter qualitativo e quantitativo. Em seguida, foram analisados a disponibilidade hídrica (índice de Falkenmark), a segurança da água (Índice de Segurança Hídrica Urbana) e o desenvolvimento sustentável (Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades). Os resultados indicaram que a disponibilidade hídrica na bacia apresenta alguns problemas sazonais de suprimento e qualidade de água, com efeitos adversos durante secas severas. No que diz respeito à segurança hídrica, todos os municípios obtiveram índices classificados como 'Alto'. A sustentabilidade observada conferiu uma classificação geral "média" para os três municípios estudados. Concluiu-se que, por meio da análise dos indicadores selecionados quanto à eficácia da aplicação integrada desses na gestão hídrica dos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, este estudo proporcionou uma compreensão abrangente de cada município. A análise individual dos municípios revelou características distintas e oportunidades de melhorias no setor dos recursos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos Hídricos, Indicadores de Sustentabilidade, Mudanças Climáticas.

**1 INTRODUÇÃO**

Projeções indicam que, nos próximos anos, os impactos das mudanças climáticas, intensificados pelas atividades antropogênicas, terão o potencial de comprometer significativamente diversos setores que dependem, de maneira direta ou indireta, dos recursos hídricos (NAITZEL, 2023). Diante da gravidade dessa questão, a garantia da disponibilidade hídrica tem se destacado como um tema de crescente relevância nos fóruns internacionais, com ênfase na formulação de soluções estratégicas e ações que promovam a segurança dos recursos hídricos em face das mudanças climáticas.

Estudos indicam que o avanço no desenvolvimento sustentável é fundamental para alcançar a segurança hídrica em escala global (MISHRA *et al.*, 2021; POKHREL *et al.*, 2021; RODELL *et al.*, 2018). Para esse objetivo, são necessárias abordagens amplas e sustentáveis para enfrentar os desafios relacionados à segurança hídrica, o que requer uma integração multifatorial das dimensões econômica, social e ambiental (MISHRA *et al.*, 2021; RODELL *et al.*, 2018). Além disso, a singularidade de cada localização geográfica evidencia a necessidade de dados para medir a segurança hídrica, o que tem fomentado o desenvolvimento de diversas ferramentas com diferentes definições, incluindo indicadores (OCTAVIANI; STADDON, 2021).

A conscientização acerca da disponibilidade hídrica representa uma etapa inicial crucial para a superação dos desafios relacionados a esse recurso. Tal conscientização é essencial para viabilizar transformações nas práticas de gestão dos recursos hídricos, na implementação de infraestrutura, na modificação de padrões de consumo e na formulação de políticas públicas de gestão hídrica (RODELL *et al.*, 2018).

No contexto da disponibilidade hídrica, os indicadores são essenciais para fornecer uma visão abrangente e permitir a comparação entre diferentes níveis de disponibilidade, que variam desde a escassez até a abundância desses recursos (LAWRENCE; MEIGH; SULLIVAN, 2002).

A disponibilidade hídrica refere-se à quantidade de água acessível para uso humano sem provocar impactos adversos nos ecossistemas aquáticos. Esse conceito visa atender às necessidades da população enquanto preserva a integridade ambiental do sistema hídrico. Portanto, existem limitações tanto em termos de quantidade quanto de qualidade da água para atender às diversas demandas ao longo do tempo e espaço, com o objetivo de garantir a sustentabilidade ambiental (CRUZ; TUCCI, 2008).

O Índice de Falkenmark avalia a disponibilidade de água em uma região em relação às necessidades de água para diversos usos, incluindo abastecimento humano, agricultura e indústria, entre outros. Esse índice expressa a relação entre a quantidade de água retirada de fontes hídricas em uma determinada área e a quantidade disponível per capita (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

O Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISH-U) apresenta as seguintes dimensões, combinadas e consideradas para a constituição desse índice: Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência (ANA, 2023). A necessidade de abordagens holísticas para enfrentar os desafios associados à segurança hídrica torna-se imperativa, exigindo a inclusão das dimensões sociais, econômicas e ambientais em diversas escalas. Essas abordagens podem desempenhar um papel catalisador no progresso de setores como saúde pública, segurança energética, resiliência climática e redução da pobreza, ao mesmo tempo em que aceleram o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (MISHRA *et al.*, 2021).

O Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC) é uma métrica utilizada para avaliar o nível de sustentabilidade e desenvolvimento em áreas urbanas. Essa ferramenta é essencial para orientar políticas públicas, planejamento urbano e iniciativas voltadas para o desenvolvimento sustentável, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos habitantes das cidades (ICS, 2023).

Ao englobar uma variedade de indicadores econômicos, sociais, ambientais e de qualidade de vida, o ISDC fornece uma pontuação que permite a comparação relativa entre diferentes áreas urbanas, auxiliando governos, organizações e pesquisadores a entender o desempenho das cidades em diversas áreas relacionadas ao desenvolvimento sustentável (ICS, 2023).

Cada ODS possui metas específicas e indicadores mensuráveis que permitem monitorar o progresso em direção aos objetivos estabelecidos. Os 17 ODS são concebidos como uma abordagem integrada, reconhecendo a interdependência entre questões sociais, econômicas e ambientais. Eles visam a garantir que o desenvolvimento seja sustentável, equitativo e inclusivo, promovendo a prosperidade global e a preservação do planeta (Nações Unidas Brasil, 2023).

Considerando a interseção entre a disponibilidade hídrica, os desafios associados às mudanças climáticas e a necessidade de desenvolvimento sustentável, a hipótese central deste estudo é que a aplicação integrada de indicadores, como o Índice de Falkenmark, o Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISH-U) e o Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC), oferece uma abordagem eficaz para avaliar e orientar a gestão hídrica em municípios específicos (Araraquara, Jaú e São Carlos). Esses indicadores multifatoriais, ao abrangerem dimensões humanas, econômicas, ecológicas e de resiliência, são essenciais para promover a sustentabilidade, enfrentar os desafios climáticos e contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), de maneira abrangente e integrada.

A principal questão que orientou esta pesquisa foi: como o uso desses indicadores pode subsidiar a formulação de estratégias eficazes de gestão hídrica, considerando os desafios associados às mudanças climáticas e a necessidade de desenvolvimento sustentável?

## **2 OBJETIVO**

O objetivo foi estudar os indicadores de sustentabilidade e de gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na região central de São Paulo (SP).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Caracterização Geral dos Municípios**

O método empregado para a caracterização da área de estudo incluiu levantamento bibliográfico e análise documental das informações. Foram examinadas fontes de estudos acadêmicos e científicos, legislação vigente, relatórios e protocolos, conforme proposto por Fonseca (2002) e Gil (2019). A revisão da literatura abrange fontes secundárias, referindo-se a materiais previamente validados ou analisados de maneira crítica, como livros e artigos científicos (GIL, 2019; FONSECA, 2002). Embora a pesquisa documental compartilhe semelhanças com a pesquisa bibliográfica, ela se distingue pela inclusão de uma gama mais ampla de fontes, que não são analisadas sistematicamente, como jornais, relatórios, documentos oficiais e relatórios de empresas, entre outras fontes (FONSECA, 2002).

Esta pesquisa possui abordagem qualitativa e quantitativa, visto que se caracteriza como qualitativa, pois suas informações buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito e analisando dados não métricos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), em conjunto com a análise e interpretação de dados métricos da pesquisa quantitativa, cujos dados ilustram um retrato real do cenário alvo da pesquisa (FONSECA, 2002). O uso conjunto das duas abordagens permite ao pesquisador recolher mais informações acerca do objeto de estudo do que se o fizesse separadamente (FONSECA, 2002).

Nessa etapa, o levantamento bibliográfico focou os seguintes aspectos, em associação com informações sobre os municípios de Araraquara (SP), Jaú (SP) e São Carlos (SP): informações sobre saneamento, sobre dados demográficos, recursos hídricos, disponibilidade hídrica, indicadores relacionados aos recursos hídricos.

As bases de dados e informações consultadas foram: Google Acadêmico, Google Books, Prefeitura Municipal de Araraquara, Prefeitura Municipal de Jaú, Prefeitura Municipal de São Carlos, Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE São Carlos), Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE Araraquara), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

As informações obtidas permitiram compreender os cenários de disponibilidade hídrica e saneamento em Araraquara (SP), Jaú (SP) e São Carlos (SP). Para atingir esse objetivo, foram consultadas informações disponíveis digitalmente nas prefeituras dos municípios, bem como em agências governamentais nas esferas estadual e nacional.

### 3.2 Criação dos mapas utilizados no estudo

Utilizou-se a ferramenta de mapeamento QGIS, versão 3.28.12, para a elaboração dos mapas utilizados neste trabalho, na escala 1:250000. Os arquivos *shapefiles* referentes aos municípios foram obtidos por meio da plataforma do IBGE, nas bases de dados em datas relativas aos anos de 2022 e 2023, de acordo com a disponibilidade da versão mais atualizada. No Quadro 1 estão identificados os dados utilizados na elaboração dos mapas e suas respectivas fontes e bases.

Quadro 1 – Bases de dados utilizada para a elaboração de mapas

| Informação/Dados                                      | Formato          | Fonte | Ano de referência |
|---|------------------|-------|-------------------|
| Limites Territoriais municipais, estaduais e nacional | <i>Shapefile</i> | IBGE  | 2022              |
| Perímetros Urbanos                                    | <i>Shapefile</i> | IBGE  | 2022              |
| Drenagem superficial dos corpos hídricos do Brasil    | <i>Shapefile</i> | IBGE  | 2022              |
| Limite das UGRHIs do estado de São Paulo              | <i>Shapefile</i> | Sigrh | 2023              |
| Hidrografia das UGRHIs do estado de São Paulo         | <i>Shapefile</i> | Sigrh | 2023              |

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

### 3.3 Indicadores Relacionados aos Recursos Hídricos

Considerando as perspectivas de crescimento demográfico, o aumento do consumo de recursos hídricos e os impactos das mudanças climáticas, a utilização de indicadores para monitorar a situação dos recursos hídricos de um município é de suma importância. Nesse sentido, foram utilizados o Índice de Falkenmark, o ISH-U e o ISDC para a caracterização dos municípios estudados.

#### 3.1.1 Índice de Falkenmark

O Índice de Falkenmark é uma ferramenta útil para avaliar a disponibilidade de água e o estresse hídrico em uma região, auxiliando na gestão sustentável dos recursos hídricos e na tomada de decisões relacionadas à água. Os valores do índice podem variar de forma a indicar diferentes graus e classes de escassez de água, conforme expressados no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de situação hídrica segundo o Índice de Falkenmark

| Classe Hídrica             | Descrição   | Água Disponível (m <sup>3</sup> / hab / ano) |
|----------------------------|---|--|
| Além da "Barreira Hídrica" | Problemas crônicos e em grande escala de suprimento de água, que se tornam catastróficos durante as secas.          | < 500  |
| Escassez Crônica de Água   | Problemas crônicos de suprimento de água que se tornam piores durante a estação seca; secas severas são frequentes. | 500 a 1.000                                  |
| Tensão Hídrica             | Frequentes problemas sazonais de suprimento e de qualidade de água, acentuados por secas ocasionais                 | 1.000 a 1.666                                |
| Problemas Moderados        | Alguns problemas sazonais de suprimento e de qualidade de água, com alguns efeitos adversos durante secas severas   | 1.666 a 10.000                               |
| Dotação Adequada           | Raros problemas de suprimento e qualidade de água, exceto durante condições de secas extremas                       | > 10.000                                     |

Fonte: Adaptado de Falkenmark e Widstrand, 1992.

### 3.1.2 Índice de Segurança hídrica Urbano

O ISH-U, desenvolvido como parte integrante do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), tem o propósito de representar diversas perspectivas da segurança hídrica no território brasileiro (ANA, 2023). Esse índice é disponibilizado pela ANA para consulta pública na plataforma "Atlas Águas", que permite a visualização das informações referentes ao município desejado, por meio de uma base de dados sobre águas

### 3.1.3 Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades

O Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC) foi elaborado como propósito de avaliar e mensurar o desempenho das cidades em relação à sustentabilidade e ao desenvolvimento. Esse índice varia de 0 a 100, sendo que o maior valor representa o nível mais elevado da sustentabilidade. A classificação do ISDC se baseia na cor e no valor numérico, tais como verde escuro (muito alto - 80 a 100), verde (alto - 60 a 79,99), amarelo (médio - 50 a 59,99), laranja (baixo - 40 a 49,99) e vermelho (muito baixo - 0 a 39,99), indica o quão próximo ou distante um município está de atingir cada um dos ODS. Quanto mais próximo do vermelho, maior a distância em relação à realização do ODS em questão (ICS, 2023).

Dentre os 17 ODS como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, cinco desses estão diretamente relacionados com este estudo. A justificativa está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - ODS relacionados aos estudos de Recursos Hídricos.

| <b>Objetivo do Desenvolvimento Sustentável</b> | <b>Justificativa do ODS na presente pesquisa</b>  |
|--|---|
| ODS 6 - Água Limpa e Saneamento                | Este objetivo tem como meta assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ICS BRASIL, 2023). Desta forma, este objetivo é o mais relevante para esta pesquisa.  |
| ODS 3 - Saúde e Bem-Estar                      | Garantir o acesso a água potável e saneamento adequado contribui para a promoção da saúde e prevenção de doenças (IPCC, 2023; KYPRIANOU, LI <i>et al.</i> , 2023). Assim, este objetivo se relaciona a este estudo pela qualidade da água está diretamente ligada à saúde humana.   |
| ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis    | O acesso à água limpa e a gestão sustentável dos recursos hídricos são fundamentais para comunidades saudáveis e resilientes (LI <i>et al.</i> , 2023; SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022; NIKOLOPOULOS <i>et al.</i> , 2019). Desta maneira, a qualidade da água afeta diretamente a sustentabilidade das cidades e comunidades. |
| ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis       | A pesquisa sobre a qualidade da água também pode estar relacionada ao uso sustentável dos recursos naturais, incluindo a água (SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022). Reduzir a poluição e melhorar a eficiência no uso da água são aspectos-chave deste objetivo.  |
| ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima | Mudanças na qualidade da água podem ser influenciadas pelas mudanças climáticas (IPCC, 2023; SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022). A pesquisa pode ajudar a entender e enfrentar os impactos da mudança climática na disponibilidade e qualidade da água.  |
| ODS 14 - Vida na Água                          | Preservar e renovar a qualidade da água em corpos hídricos e oceanos é crucial para a vida aquática (IPCC, 2023). Este objetivo visa conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos.   |

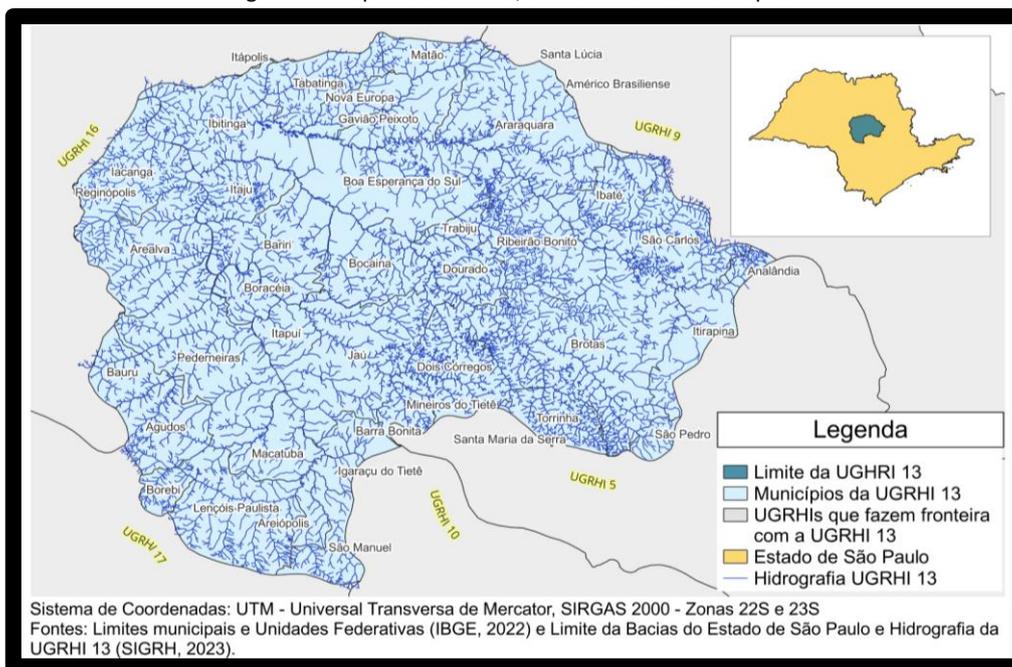
Fonte: Elaboração Própria, 2024.

## 4 RESULTADOS

#### 4.1 Caracterização dos municípios

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 13 está localizada na região central do Estado de São Paulo e abrange 34 municípios, representando aproximadamente 3,6% da população paulista (Figura 1). Esta unidade faz fronteira com as UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí), UGRHI 9 (Mogi-Guaçu), UGRHI 10 (Tietê/Sorocaba), UGRHI 16 (Tietê-Batalha) e UGRHI 17 (Médio Paranapanema) (CBHTJ, 2023).

Figura 1 – Mapa da UGRHI 13, com divisão dos municípios.



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Com uma área de drenagem abrangendo aproximadamente 11.779 km<sup>2</sup>, essa bacia atende a uma população de 1.462.855 habitantes, e possui base econômica predominante, dos municípios inseridos na região, relacionada à agroindústria, que engloba atividades como a produção de açúcar, álcool e processamento de cítricos (SIGRH, 2023).

A região da bacia é delimitada pelos seus principais rios: Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Os seus principais mananciais de captação superficial são: Rios Lençóis, Itaquerê, Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira e Jaú; Ribeirão do Potreiro; Córrego do Borracho (CBHTJ, 2023).

Os estudos de caso utilizados para esta pesquisa incluíram os municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na UGRHI 13. Esses municípios foram selecionados, de forma preliminar, pelo conjunto de dados disponíveis, pelo porte populacional da UGRHI-13 e pela relevância econômica no estado de São Paulo.

Araraquara, Jaú e São Carlos destacam-se como alguns dos maiores municípios na UGRHI-13, desempenhando um papel significativo não apenas na agroindústria, mas também em outros setores, incluindo indústrias de papel, bebidas, calçados e metalmeccânica, além de

tecnologias e inovação (SIGRH, 2023). Algumas das principais informações demográficas desses municípios estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Informações demográficas de Araraquara, Jaú e São Carlos.

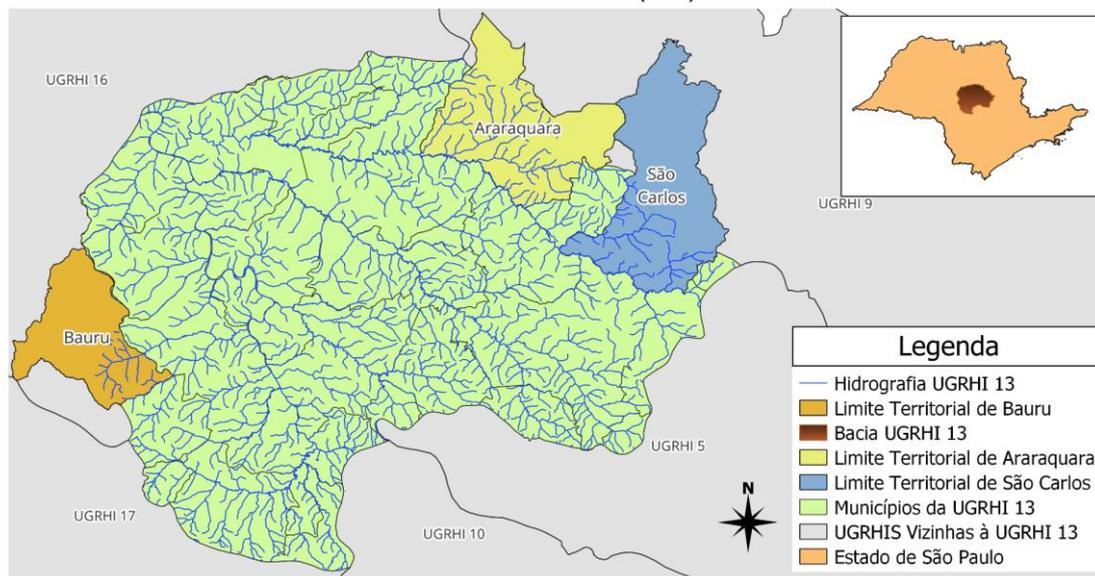
| Informações sobre demografia                                    |            |         |            |
|---|------------|---------|------------|
| Aspecto   | Araraquara | Jaú     | São Carlos |
| População em 2022 (habitantes)                                  | 242.228    | 133.497 | 254.822    |
| Área territorial (km <sup>2</sup> )                             | 1.003,62   | 687,10  | 1136,94    |
| Área Urbanizada (km <sup>2</sup> )                              | 80,17      | 34,99   | 79,87      |
| Densidade Demográfica em 2022 (habitantes por km <sup>2</sup> ) | 241,35     | 194,29  | 224,14     |
| Altitude Média (m)  | 664        | 541     | 856        |
| IDHM (2010)   | 0,815      | 0,778   | 0,805      |

Fonte: Adaptado do IBGE Cidades, 2024.

Jaú abrange integralmente a UGRHI 13 em 100% de seu território, enquanto Araraquara possui 65,1% de sua área na UGRHI 13, e o restante está inserido na UGRHI 9. São Carlos, por sua vez, ocupa 39,9% na UGRHI 13 e a porção restante na UGRHI 9. A disposição geográfica desses municípios pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Localização dos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Jacaré-Tietê

### LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ARARAQUARA (SP), BAURU (SP) E SÃO CARLOS (SP)



Sistemas de coordenadas: UTM- Universal Transversal de Mercator - Sirgas 2000 - Zona 22S e 23S  
 Fontes: Limites Municipais, drenagem e unidades federativas (IBGE, 2021, 2022), Hidrografia das UGRHIs do estado de São Paulo (Sigrh, 2023).  
 Elaboração Cartográfica: Júlia Protásio

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Os serviços de saneamento e tratamento de esgoto em Araraquara são fornecidos pelo DAAE Araraquara, que opera duas Estações de Tratamento de Água (ETA): ETA Fonte e ETA Paiol. Essas estações realizam a captação superficial de água a partir de três mananciais distintos: o

córrego das Cruzes, o córrego Anhumas e o córrego Paiol. Além disso, o Departamento opera 25 poços de captação de água subterrânea do aquífero Guarani, para suprir as necessidades de abastecimento público. O processo de captação de água inclui a utilização de bombas para a adução da água dos mananciais superficiais até as respectivas estações de tratamento (DAAE ARARAQUARA, 2023).

Em Jaú, a prestação de serviços de saneamento e tratamento de esgoto é conduzida por uma empresa privada, a Águas de Jahu S.A (CAJA). Conforme o Plano de Saneamento Básico da localidade, a captação de água superficial é realizada a partir de seis fontes distintas: os córregos Santo Antônio e João da Velha, o córrego São Joaquim, o córrego do Borralho, o Ribeirão Pouso Alegre e o córrego dos Pires. Além desses, são mantidos nove poços tubulares para a captação subterrânea de água. O município abriga três Estações de Tratamento de Água, identificadas como ETA I, ETA II e ETA III (JAÚ, 2013). Entretanto, segundo informações da CAJA (2024), atualmente estão em funcionamento somente a ETA I e ETA II.

A prestação de serviços de saneamento e tratamento de esgoto em São Carlos é administrada pelo SAAE São Carlos. A captação de água superficial é efetuada a partir de dois mananciais: o Córrego do Monjolinho e o Ribeirão do Feijão. Em adição, outra parte da captação de água que abastece o município é subterrânea, sendo extraída do Aquífero Guarani e de outros 28 poços profundos. O município abriga duas ETAs, conhecidas como ETA Vila Pureza e ETA CEAT (SAAE SÃO CARLOS, 2023).

Algumas das informações sobre os sistemas de Abastecimento de Água de Araraquara, Jaú e São Carlos estão sintetizadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Informações sobre Saneamento de Araraquara, Jaú e São Carlos.

| <b>Informações sobre Sistemas de Abastecimento de Água</b>                          |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Aspecto</b>  | <b>Araraquara</b>    | <b>Jaú</b>           | <b>São Carlos</b>    |
| Cobertura de atendimento de água (%)  | 96,98                | 96,90                | 100                  |
| Extensão total da rede de distribuição de água (km)                                 | 1519,30              | 952,67               | 1061,27              |
| Volume de água consumido (1000 m <sup>3</sup> /ano)                                 | 19579,65             | 9333,49              | 23895,23             |
| Consumo Médio per capita (l/hab./dia)   | 229,14               | 183,93               | 261,9                |
| Índice de perdas calculado (%)  | 37,14                | 33,53                | 41,66                |
| Atendimento da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde sobre a qualidade da água | Atende Integralmente | Atende integralmente | Atende Integralmente |

Fonte: Elaboração própria com base em SNIS (2023), IBGE (2024).

#### 4.2 Análise de Indicadores

Os pontos de captação superficial, que são o foco desta pesquisa, estão localizados na Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. De acordo com o Relatório de Situação das Bacias da UGRHI-13, publicado em 2023 com base nos dados de 2022, a disponibilidade hídrica nesta bacia é de 1.893,09 m<sup>3</sup>/hab.ano (Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré, 2023). O Índice de Falkenmark indica que a disponibilidade hídrica da bacia está dentro do intervalo de 1.666 a 10.000 m<sup>3</sup>/hab.ano, o que sugere a presença de alguns problemas sazonais relacionados ao suprimento

e à qualidade da água, com possíveis efeitos adversos durante períodos de secas severas (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Na pesquisa conduzida no portal oficial *on-line* do ICS, os municípios estudados atingiram os seguintes resultados na avaliação geral no Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades, de acordo com o estudo realizado pelo Instituto Cidades Sustentáveis apresentado no Quadro 6, no âmbito do Programa Cidades Sustentáveis.

Quadro 6 – Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades

|            | Índice de Desenvolvimento das Cidades |                     |                                      |
|------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
|            | Pontuação Geral                       | Classificação Geral | Nível de Desenvolvimento Sustentável |
| Araraquara | 59,56                                 | 71 <sup>a</sup>     | Médio                                |
| Jaú        | 59,33                                 | 79 <sup>a</sup>     | Médio                                |
| São Carlos | 57,78                                 | 198 <sup>a</sup>    | Médio                                |

Fonte: Adaptado de ICS, 2024.

A coleta de dados realizada para os ODS de interesse para este estudo, referente aos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Desempenho por ODS no objeto de estudo em 2023

| ODS  | ARARAQUARA |                    | JAÚ        |                    | SÃO CARLOS |                    |
|--|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|
|  | NS         | Desempenho por ODS | NS         | Desempenho por ODS | NS         | Desempenho por ODS |
| ODS 6 - Água Limpa e Saneamento                | Muito Alto | 84,87              | Muito Alto | 88,56              | Muito Alto | 85,21              |
| ODS 3 - Saúde e Bem-Estar                      | Alto       | 67,7               | Alto       | 63,76              | Alto       | 68,44              |
| ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis    | Alto       | 70,23              | Alto       | 75,97              | Alto       | 70,87              |
| ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis       | Alto       | 68,27              | Médio      | 55,78              | Baixo      | 45,24              |
| ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima | Muito Alto | 80,93              | Muito Alto | 80,11              | Muito Alto | 82,41              |
| ODS 14 - Vida na Água                          | Muito Alto | 98,01              | Muito Alto | 92,33              | Muito Alto | 91,00              |

ODS: Objetivo de desenvolvimento sustentável; NS: Nível de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Adaptado de ICS, 2024.

Conforme a análise referente ao ano de 2021, os municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos têm seus respectivos índices **ISH-U** classificados como "**Alto**", indicando segurança hídrica para essas localidades (ATLAS ÁGUAS, 2024). Esse resultado sugere que a região apresenta um nível satisfatório de segurança hídrica, ou seja, a disponibilidade de água é considerada adequada para atender às demandas da população e dos setores econômicos, tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos da água. Em adição, sugere uma situação favorável em termos de gestão e uso sustentável dos recursos hídricos nos municípios avaliados.

O indicador de disponibilidade hídrica, conforme destacado pelo **Índice de Falkenmark** para a bacia da UGRHI 13, situa-se no intervalo de 1.666 a 10.000 m<sup>3</sup>/hab.ano, sugerindo a presença de alguns problemas sazonais no fornecimento e na qualidade da água, podendo acarretar efeitos adversos durante períodos de secas severas. Com as mudanças climáticas,

acredita-se que a ocorrência desses problemas tende a aumentar. Desse modo, relacionando-se a essa questão, os municípios estudados demonstram desempenho considerado "**Muito Alto**" nos ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e 14 (Vida na Água), sugerindo que estão potencialmente mais preparados para lidar com adversidades relacionadas à disponibilidade hídrica.

Os municípios estudados obtiveram **classificação média**, considerando todos os 17 ODS no **IDSC**. Entretanto, esses ainda obtiveram posições de destaque na classificação geral em relação aos 5.570 municípios do Brasil.

Araraquara se destacou em seu desempenho na avaliação do IDSC. Dos cinco ODS diretamente relacionados com este estudo, suas classificações foram superiores a 'Alto'. Para esse município, os índices neste estudo apresentaram classificações consideradas altas e dados muito positivos em relação ao saneamento, comparados à média nacional.

Araraquara e São Carlos possuem oportunidades de melhoria em relação ao índice de perdas e ao consumo médio per capita, que estão acima da média nacional. O índice de perdas de água potável não contaminada na distribuição é de 37,8%, e o consumo médio per capita é de 148,2 L/hab/dia (SNIS, 2023).

O município de Jaú apresentou um cenário positivo na avaliação do IDSC e dos cinco ODS de interesse para este estudo. Segundo o SNIS (2023), Jaú possui um índice de perdas de água potável de 33,53%, abaixo da média nacional, e um consumo médio per capita de 183,93 L/hab/dia, que está um pouco acima da média nacional, indicando um sistema de gestão eficiente de abastecimento de água. No entanto, os dados e indicadores levantados neste estudo evidenciam que Jaú apresenta diversas oportunidades de aprimoramento em outras áreas de sua gestão de recursos hídricos. Isso inclui a necessidade de atualização do Plano Municipal de Saneamento de Jaú (PMSJ), que foi realizado há mais de 11 anos, período durante o qual o panorama da gestão de águas no município evoluiu.

Ainda, no cenário da gestão dos recursos hídricos em Jaú destaca-se uma divergência significativa nas práticas e mudanças recentes, o que ressalta a necessidade urgente de atualização do PMSJ para um planejamento estratégico mais eficaz para os próximos anos. Ainda, em contraste com os outros dois municípios analisados, a obtenção de informações básicas e a transparência sobre a gestão das águas em Jaú revelaram desafios consideráveis, como a falta de clareza em relação aos locais de captação de água e seus respectivos endereços.

São Carlos apresentou, em sua maioria, dados positivos em relação ao seus Serviços de Abastecimento de Água, além de desempenhos positivos na avaliação geral do IDSC e no ISH-U. No entanto, na análise individual dos cinco ODS, com a maioria apontando classificação superior à "Alta", o ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis) divergiu, com uma classificação "Baixa". De acordo com Rodell *et al.* (2018) e Mishra *et al.* (2021), é necessário implementar ações de melhoria no consumo consciente e otimizar processos produtivos buscando melhorar a eficiência no uso da água, isso pode aumentar a resiliência do município, aumentando a segurança hídrica.

## 5 CONCLUSÃO

A análise dos indicadores selecionados e a interpretação coerente dos resultados em relação à eficácia da aplicação integrada desses na gestão hídrica dos municípios em estudo permitiram concluir que a avaliação proporcionou uma compreensão abrangente de cada município analisado. Essa compreensão foi obtida pelo uso dos indicadores de sustentabilidade e gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, validando, assim, a eficácia da abordagem proposta.

Os resultados obtidos indicam que, apesar dos desafios sazonais na disponibilidade hídrica, evidenciados pela avaliação do Índice de Falkenmark na bacia da UGRHI 13, os municípios em questão apresentaram um desempenho classificado como "Alto" ou superior nos ODS 6, 13 e 14. Essa constatação sugere uma preparação potencialmente eficaz para lidar com adversidades relacionadas à água, embora destaque a necessidade de considerar os impactos das mudanças climáticas no futuro.

A análise individual dos municípios revelou características distintas. Araraquara, apresentou ótimo desempenho em sua disponibilidade e gestão hídrica, com classificações altas e destaque nos cinco ODS analisados. Este estudo observou oportunidades de melhorias para esse município relacionadas ao consumo de água, destacando o consumo médio per capita de 54,61%, acima da média nacional.

São Carlos, embora demonstre um desempenho positivo, revela a necessidade de aprimoramentos na abordagem sustentável de consumo e produção, conforme evidenciado por sua classificação "Baixa" no ODS 12. Dada sua condição como um significativo polo industrial e tecnológico na região, esse indicador aponta para a urgência de medidas mais eficazes voltadas para o aprimoramento do consumo e da produção sustentáveis no município. Além disso, o município apresenta oportunidades para melhorias significativas na redução do consumo médio per capita de água e nas perdas de água em sua distribuição.

O elevado conforto hídrico evidenciado pelos índices de Falkenmark, ISH-U e ISDC para São Carlos e Araraquara, junto aos resultados desfavoráveis relacionados aos elevados consumos de água e desperdício apontados pelo SNIS, pode indicar a necessidade de que os municípios adotem abordagens estratégicas para uma gestão mais sustentável do uso e consumo da água. É relevante destacar que, em adição à região contar com segurança hídrica, a melhoria da gestão e medidas de educação ambiental sobre recursos hídricos podem preparar as comunidades para lidar com eventos climáticos extremos, como secas e inundações, e promover a gestão sustentável da água.

Jaú, embora apresente índices favoráveis em alguns aspectos, revela oportunidades de aprimoramento, especialmente na atualização do PMSJ e na transparência da gestão hídrica. O valor de 55,78 no ODS 12, ligeiramente acima do mínimo para a classificação "média" para esse ODS, indica a necessidade de maior atenção por parte do município para esse setor, assim como para o ODS 3, que é voltado à saúde e bem-estar.

Dada a complexidade e diversidade climática, bem como a variedade de biomas brasileiros, este estudo também identificou a necessidade de índices e indicadores específicos para o contexto brasileiro relacionados à segurança e disponibilidade hídrica. Esses indicadores, em associação com fatores como mudanças climáticas e vulnerabilidade social, são cruciais para a análise de mitigação de impactos e planos de emergência.

Em síntese, a gestão sustentável dos recursos hídricos deve considerar não apenas sua disponibilidade, mas também aspectos sociais, econômicos e ambientais. A utilização dos ODS como referência desempenhou um papel importante, e os indicadores foram ferramentas valiosas para traduzir esses objetivos em ações práticas. As diferenças entre os municípios ressaltam a necessidade de abordagens adaptadas às realidades locais, destacando a importância da transparência, da atualização dos planos de saneamento e da eficiência na gestão hídrica.

Por fim, a gestão sustentável da água deve ser uma prioridade, integrando abordagens multifatoriais e considerando os ODS como diretrizes. O desafio atual reside na implementação de medidas específicas para aprimorar a eficiência, transparência e resiliência hídrica em cada município, promovendo um futuro mais sustentável e equitativo para seus habitantes. Este estudo oferece percepções que podem orientar políticas públicas, práticas de gestão e iniciativas locais para enfrentar os desafios da gestão hídrica no contexto das mudanças climáticas e do desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Catálogo de Metadados da ANA: Índice de Segurança Hídrica - ISH. 2023.**

Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 19 jan. 2024

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Catálogo de Metadados da ANA: Índice de Segurança Hídrica - ISH. 2023.**

Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 19 jan. 2024

ATLAS ÁGUA. 2021. **Segurança Hídrica: Araraquara, Jaú e São Carlos.** Disponível em:

<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=8cb19a1963e940a6818edacef47edc72>. Acesso em 01 dez. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TIÊTE-JACARÉ (CBHTJ). **Relatório De Situação Dos Recursos Hídricos 2023:**

**UGRHI 13 - Bacia Hidrográfica Tietê - Jacaré.** Disponível em:

<https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/26110/relatorio-de-situacao-2023.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

DAAE Araraquara. **Água.** Disponível em: <https://daae.araraquara.com.br/tratamento-de-agua-e-esgoto/>. Acesso em 05 jan. 2024.

FALKENMARK, Malin; WIDSTRAND, Carl. Population and water resources: a delicate balance. **Population bulletin**, v. 47, n. 3, p. 1-36, 1992.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa.** Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRUPO ÁGUAS DE JAHU. **Qualidade da Água.** 2023. Disponível em: <https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-jahu/sustentabilidade/qualidade-da-agua/>. Acesso em 25 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2022) **Cidades e Estados: Araraquara, Jaú e São Carlos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em 29 dez. 2023.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS (ICS) 2023. **Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC): Araraquara, Jaú e São Carlos**. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>. Acesso em 05 dez. 2023.

IPCC, AR6 et al. Climate change 2023: longer report. **Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 1535, 2023.

JAÚ. **Plano de Saneamento Básico de Jaú**. 2013. Disponível em: <https://saemja.jau.sp.gov.br/saneamento/plano-de-saneamento-basico-jahu-final.pdf>. Acesso em 15 dez. 2023.

KYPRIANOU, Ioanna. et al. Mitigation and adaptation strategies to offset the impacts of climate change on urban health: A European perspective. **Building and Environment**, V. 238, p. 110226, 2023.

LAWRENCE, Peter R.; MEIGH, Jeremy; SULLIVAN, Caroline. **The water poverty index: an international comparison**. Keele, Staffordshire, UK: Department of Economics, Keele University, 2002.

LI, Jiada; STRONG, Courtenay, WANG, Jun; BURIAN, Steven. An Event-Based Resilience Index to Assess the Impacts of Land Imperviousness and Climate Changes on Flooding Risks in Urban Drainage Systems. **Water**, v. 15, n. 14, p. 2663, 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 17 dez. 2023.

NAITZEL, Letícia. **Projeção de Indicadores de Segurança Hídrica em Escala Nacional para Diferentes Cenários de Mudanças Climáticas e Consumo de Água Utilizando Geoprocessamento**. 2023. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/270468>. Acesso em 10 jan. 2024.

NIKOLOPOULOS, Dionysios; ALPHEN, Henk-Jan V.; VRIES, Dirk; PALMEN, Luc; KOOP, Setf.; THIENEN, Peter. V.; MEDEMA, Gertjan; MAKROPOULOS, Christos. Tackling the “new normal”: A resilience assessment method applied to real-world urban water systems. **Water**, v. 11, n. 2, p. 330, 2019.

OCTAVIANI, Thanti; STADDON, Chad. A review of 80 assessment tools measuring water security. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Water**, v. 8, n. 3, p. e1516, 2021.

POKHREL, Y.; FELFELANI F. ; SATOH, Y. ; BOULANGE, J.; BUREK, P. ; GÄDEKE, A. ; GERTEN, D.; GOSLING, S. N.; GRILLAKIS, M.; GUDMUNDSSON, L. ; HANASAKI, N.; KIM, H.; KOUTROULIS, A.; LIU, J.; PAPANIMITRIOU, L.; SCHEWE, J.; SCHMIED, H. M.; STACKE, T.; TELTEU, C.; THIERY, W.; VELDKAMP, T.; ZHAO, F.; WADA, Y. Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 3, p. 226-233, 2021.

RODELL, M.; FAMIGLIETTI, J. S.; WIESE, D. N.; REAGER, J. T.; BEAUDOING, H. K.; LANDERER, F. W.; LO, M.-H. . Emerging trends in global freshwater availability. **Nature**, v. 557, n. 7707, p. 651-659, 2018.

SAAE – Serviço Autônomo de Águas e Esgoto de São Carlos. **São Carlos: Água**. Disponível em: <https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/index.php/agua/e-t-a-s>. Acesso em: 09 set. 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH) (2023). **Apresentação**. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>. Acesso em: 25 dez. 2023.

SITZENFREI, Robert; DIAO, Kegong; BUTLER, David. Resilience of interdependent urban water systems. **Water**, v. 14, n. 3, p. 440, 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2022** [internet]. Brasília, DF: MDR; 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em 25 jan. 2024.



VAN BEEK, E.; ARRIENS, W.L. **Water security: putting the concept into practice**. Stockholm Environment Institute, Technical Committee (TEC), Global Water Partnership, 2014.

VENTURA, K. S. **Modelo de avaliação do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (RSS) com uso de indicadores de desempenho: estudo de caso - Santa Casa de São Carlos-SP**. (Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19072009-120104/en.php>. Acesso em 20 jan. 2024.