

## INDICADORES DE SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE FATORIAL APLICADA AOS MUNICÍPIOS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS ATIBAIA E PIRACICABA

WATER SAFETY INDICATORS: FACTORIAL ANALYSIS APPLIED TO THE MUNICIPALITIES OF THE ATIBAIA AND PIRACICABA HYDROGRAPHIC SUB-BAINS

INDICADORES DE SEGURIDAD HÍDRICA: ANÁLISIS FACTORIAL APLICADO A LOS MUNICIPIOS DE LAS SUBCUENCAS HIDROGRAFICAS ATIBAIA Y PIRACICABA

Denise Helena Lombardo Ferreira<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3138-2406>

Jakeline Pertile Mendes<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-0659-8424>

Cibele Roberta Sugahara<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3481-8914>

Bruna Angela Branchi<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-5312-286X>

Submissão: 24/06/2022 / Aceito: 11/11/2022

### RESUMO

O crescimento populacional e o adensamento demográfico, derivado da industrialização e disponibilidade hídrica, torna as Bacias Hidrográficas cada vez mais comprometidas em abastecer as comunidades ao redor, dificultando a garantia da quantidade e qualidade de água adequada. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa é analisar um conjunto de indicadores de sustentabilidade para a segurança hídrica, a fim de apresentar uma alternativa de um instrumento de gestão dos recursos hídricos nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba. O método de pesquisa é exploratório com dados secundários obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento referentes ao ano de 2019. Foi possível validar um conjunto de indicadores de sustentabilidade para se estabelecer um Índice de Segurança Hídrica (I-SH) por município, das respectivas sub-bacias. A partir do I-SH pôde-se construir um Ranking para comparar as condições de segurança hídrica entre os municípios inseridos nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba. Os resultados obtidos destacam que, em geral, os municípios inseridos na sub-bacia do Rio Piracicaba possuem I-SH melhores quando comparados com os municípios da sub-bacia do Rio Atibaia. Os indicadores: População urbana e População total atendidas com esgotamento sanitário; População urbana e

<sup>1</sup>Doutora em Educação Matemática, UNESP-Rio Claro. Professora e Pesquisadora da PUC-Campinas. E-mail: lombardo@puc-campinas.edu.br.

<sup>2</sup>Mestre em Sustentabilidade, PUC-Campinas. Professora associada ao Pecege da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). E-mail: jakelinepertilemendes@gmail.com.

<sup>3</sup>Doutora em Ciência da Informação, USP-São Paulo. Professora e Pesquisadora da PUC-Campinas. E-mail: cibelesu@puc-campinas.edu.br.

<sup>4</sup>Doutora em Economia Política, Università degli Studi di Pavia, Itália. Professora e Pesquisadora da PUC-Campinas. Email: bruna.branchi@puc-campinas.edu.br



População total atendidas com abastecimento de água e Índices de atendimento total de água e de coleta de esgoto, foram os predominantes quanto à boa segurança hídrica.

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade. Segurança hídrica. Bacias hidrográficas. Sub-bacias.

## ABSTRACT

The population growth and the demographic densification, resulting from industrialization and water availability, make the Hydrographic Basins increasingly committed to supplying the surrounding communities, making it difficult to guarantee the adequate quantity and quality of water. In this sense, the objective of this research is to analyze a set of sustainability indicators for water security, in order to present an alternative of an instrument for the management of water resources of the Atibaia and Piracicaba Rivers hydrographic sub-basins. The research method is exploratory with secondary data obtained from the National Sanitation Information System about Sanitation for the year 2019. It was possible to validate a set of sustainability indicators to establish a Water Security Index (I-SH) per municipality, for the respective sub-basins. From the I-SH it was possible to build a Ranking to compare the conditions of water security between the municipalities inserted in the Atibaia and Piracicaba Rivers hydrographic sub-basins. The results obtained highlight that, in general, the municipalities located in the sub-basin of the Rio Piracicaba have better I-SH when compared to the municipalities in the sub-basin of the Rio Atibaia. The indicators: Urban population and Total population served with sanitary sewage; Urban population and Total population served with water supply and Total water service and sewage collection rates were the predominant ones regarding good water security.

**Keywords:** Sustainability indicators. Water security. Hydrographic basis. Sub-basins.

## RESUMEN

El crecimiento poblacional y la densificación demográfica, derivados de la industrialización y la disponibilidad hídrica, hacen que las cuencas hidrográficas estén cada vez más comprometidas con el abastecimiento de las comunidades aledañas, dificultando garantizar la adecuada cantidad y calidad de agua. En ese sentido, el objetivo de esta investigación es analizar un conjunto de indicadores de sostenibilidad para la seguridad hídrica, con el fin de presentar un instrumento alternativo para la gestión de los recursos hídricos en las subcuencas hidrográficas de los ríos Atibaia y Piracicaba. El método de investigación es exploratorio con datos secundarios obtenidos del Sistema de Información Nacional de Saneamiento para el año 2019. Se logró validar un conjunto de indicadores de sustentabilidad para establecer un Índice de Seguridad Hídrica (I-SH) por municipio, de las respectivas subcuencas. A partir del I-SH, fue posible construir un Ranking para comparar las condiciones de seguridad hídrica entre los municipios insertos en las subcuencas hidrográficas de los ríos Atibaia y Piracicaba. Los resultados obtenidos destacan que, en general, los municipios ubicados en la subcuenca del río Piracicaba tienen mejor I-SH en comparación con los municipios de la subcuenca del río Atibaia. Los indicadores Población urbana y Población total atendida con alcantarillado sanitario y abastecimiento de agua e Índices de servicio total de agua y alcantarillado, fueron los predominantes en relación con la seguridad hídrica.

**Palabras clave:** Indicadores de sostenibilidad. Seguridad hídrica. Cuencas hidrográficas. Subcuencas.

## INTRODUÇÃO



Indubitavelmente, a disponibilidade dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, é uma condição essencial para a qualidade de vida do planeta. Conforme a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO* (2019), a água doce é o recurso mais importante para a humanidade, por abranger todas as atividades sociais, econômicas e ambientais. Na mesma linha, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) fortalecem a necessidade de compreender o papel fundamental da água como substância, englobando os aspectos ecológicos, econômicos e sociais para o Planeta Terra. Entretanto, apenas 3% da água doce disponível no mundo é apropriada para o consumo humano, onde parte dessa água, aproximadamente 69% é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras (Porto; Basso; Strohaecker, 2019).

O descuido com esse recurso é notável, como ocorre com a poluição dos rios e a destruição das nascentes (Brasil das Águas, 2013). Em complemento, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) assinalam que mesmo com a certeza da dependência de água para a sobrevivência humana, as sociedades continuam a poluir e degradar esse recurso, tanto as águas superficiais como as subterrâneas.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE (2012), destaca a gravidade da atual condição da segurança da água, dado que a ausência desse recurso pode impactar sistemas mundiais de alimentação e energia, principalmente nas áreas mais pobres e vulneráveis do planeta. A previsão, segundo dados da World Water Council, WWC (2020), é que dois terços da população mundial podem ser afetadas pelo estresse hídrico em 2025, onde segurança alimentar, saúde e energia estão, portanto, igualmente ameaçadas. Nessa linha, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico OCDE (2015), estabelece a água como fator limitante para o desenvolvimento econômico, políticas de saúde pública e bem-estar no Brasil (OCDE, 2015).

Para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ANA (2019), a necessidade mundial de mudança para a segurança hídrica é derivada principalmente da expansão da agricultura e indústria em países em desenvolvimento, como o Brasil, e, considerando os impactos causados pelos eventos hidrológicos extremos que ocorreram na atual década, a segurança hídrica passa a ser condição indispensável para o desenvolvimento social e econômico do País.

Ressalta-se a vulnerabilidade hídrica das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ), sobretudo nas sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, onde de acordo com a Cobrape (2020), os principais problemas atrelados à água são: 1. a ocupação de áreas com elevada potencialidade de erosão; 2. invasão de áreas que deveriam ser preservadas (nascentes e arredores de cursos d'água); 3. sistemas convencionais de produção agrícola, baseados em pastagem e

plantação de cana-de-açúcar, o qual ocorre a ocupação de áreas de declive acentuado e solos com pequena espessura; 4. não conhecimento das condições gerais e das peculiaridades do ciclo hidrológico nas diversas regiões (bacias e microbacias), e das interações de águas de chuva – superficiais – subterrâneas, e destas com o uso e ocupação do solo; 5. nenhum incentivo aos produtores rurais que conservam e preservam em suas propriedades fontes e urgências de água. Nesse sentido, essa pesquisa visa analisar variáveis para a elaboração de um Índice de Segurança Hídrica para os municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba a fim de subsidiar sua gestão.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Indicadores de Segurança Hídrica

Para a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico OECD (2001), os indicadores possuem duas funções principais: 1. reduzir o número de medições e parâmetros, que normalmente seriam necessários para uma apresentação exata de uma situação; 2. simplificar o processo de comunicação pelo qual os resultados da medição são fornecidos ao utilizador. Adicionalmente, a OECD (2013a) assinala que os indicadores são apenas uma ferramenta, entre diversas outras, e devem, geralmente, ser usados com outras informações, a fim de extrair conclusões sólidas.

De acordo com Van Bellen (2004) o principal objetivo dos indicadores é resumir e quantificar as informações, evidenciando a sua importância para a realidade estudada com intuito de simplificar as informações sobre fenômenos complexos, tentando, dessa maneira, melhorar o processo de comunicação.

É importante considerar segundo Jannuzzi (2014, p. 140) que “deve-se empregar indicadores de boa cobertura territorial ou populacional, que sejam representativos da realidade empírica em análise”. Além disso, o uso de indicadores muito complexos é o primeiro passo para o potencial fracasso na implementação de um programa.

Jannuzzi (2014, p. 138), ao se referir aos indicadores sociais, esclarece que “os indicadores apontam, indicam, aproximam, traduzem em termos operacionais as dimensões sociais de interesse definidas a partir de escolhas teóricas ou políticas realizadas anteriormente”. Van Bellen (2006, p. 42) acredita que “a mais importante característica do indicador, quando comparado com os outros tipos ou formas de informação, é a sua relevância para a política e para o processo de tomada de

decisão”.

Vale ressaltar que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2015), os indicadores são mais importantes pelo que apontam e não tanto pelo seu valor absoluto; e sua maior utilidade está quando há a análise desses indicadores em conjunto, e não individualmente. Os indicadores possibilitam monitorar a sustentabilidade ambiental e fornecem um panorama abrangente das informações necessárias para compreender a realidade do país, exercer a cidadania, planejar e formular políticas públicas, e como consequência promover o desenvolvimento sustentável.

A *European Environment Agency*, EEA (1999), destaca três principais objetivos para o monitoramento dos indicadores ambientais: 1. fornecimento de informações sobre problemas ambientais para permitir que os formuladores de políticas valorizem a seriedade; 2. apoio no desenvolvimento de políticas, estabelecendo prioridades, identificando os principais fatores que pressionam o meio ambiente; 3. monitoramento dos efeitos das respostas políticas.

Quanto aos recursos hídricos, os indicadores possibilitam medir resultados e realizar um contínuo acompanhamento sistemático, além de ajustes para aprimoramento da implementação na gestão dos recursos hídricos (Geo Brasil, 2007).

## Segurança Hídrica

Como já mencionado anteriormente, a água é um recurso muito valioso, pois o acesso a esse recurso é, segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura, Unesco (2019, s/p), “uma condição para toda a vida em nosso planeta, um fator facilitador ou limitador de qualquer desenvolvimento social e tecnológico, uma possível fonte de bem-estar ou miséria, cooperação ou conflito”.

No Brasil, um país em desenvolvimento, o principal uso da água é para a irrigação (52%), seguido do abastecimento humano (23,8%) e da indústria (9,1%). Juntos eles representam cerca de 85% da retirada total de água do território brasileiro (ANA, 2019).

WaterAid (2012) ao discutir a relação entre o uso da água para a agricultura de subsistência e para atender às necessidades humanas ressalta que:

- O uso da água em larga escala para subsistência pode impactar na quantidade e qualidade de água disponível para as necessidades humanas básicas, por exemplo, o uso para a prática da irrigação não controlada ou o retorno dos recursos hídricos poluídos pelos usos produtivos;

- Se as fontes de água estão sendo destinadas para o uso doméstico e para a produção agropecuária de pequena escala, pode ocorrer uma competição entre os usuários ao acesso desse recurso em condições de escassez;
- A dificuldade de acesso imediato à água limpa podem gerar impactos negativos à saúde, e desencadear doenças adquiridas através da água, o que afeta e pode comprometer a capacidade pessoal de cultivar e trabalhar.

No Brasil, em 1997, a partir da criação da Lei das Águas, o conceito de segurança hídrica começou a ser formulado. Contudo, o conceito de segurança hídrica se consolidou com o Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019), elaborado a partir da grave crise hídrica que atingiu o sudeste brasileiro. A crise hídrica afetou o Brasil sobretudo entre os anos de 2012 e 2017, ocasionada principalmente por fatores como aglomerações urbanas; uso e ocupação do solo de maneira incorreta; aumento de demandas hídricas para suprir diversos segmentos; má infraestrutura hídrica, associada à escassez de chuvas, entre outros. Esses fatores mostraram a urgência em discutir questões sobre o uso da água e a gestão hídrica (ANA, 2019).

Por se tratar de um termo ainda em construção, a segurança hídrica possui diferentes abordagens conceituais. Órgãos nacionais e internacionais têm demonstrado grande interesse na gestão em pesquisas desse recurso natural vital para o desenvolvimento humano. De acordo com o INPE (2012), a primeira declaração intergovernamental sobre segurança hídrica foi realizada no ano de 2000, com a Declaração Ministerial do Segundo Fórum Mundial da Água.

Segurança hídrica representa a garantia da proteção dos ecossistemas de água doce, costeira, entre outros; a promoção do desenvolvimento sustentável e estabilidade política; o acesso à água potável suficiente e com custo acessível para que cada pessoa leve uma vida saudável e produtiva, incluindo a população vulnerável na proteção contra os possíveis riscos relacionados à água (INPE, 2012).

Há diferentes perspectivas sobre o conceito da segurança hídrica. Bakker (2012), OECD (2013b), GWP/OECD (2015) e WaterAid (2020) acordam que segurança hídrica consiste em estabelecer riscos aceitáveis relacionados à água. Já para o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, CEBDS (2015), Melo e Johnsson (2017), UN-Water (2013), Santos, Reis e Mendiondo (2020) e WWC (2020), a segurança hídrica representa garantia de água com qualidade e quantidades suficientes para as necessidades humanas básicas. Enquanto para a ANA (2019), Machado (2018), Unesco (2019), Unesco i-WSSM (2019) e WaterAid (2020), a segurança hídrica está intrinsecamente relacionada à gestão adequada dos recursos hídricos.

O conceito de segurança hídrica está relacionado com a disponibilidade de água para diversos fins, a proteção das pessoas de eventos hidrológicos extremos. Os órgãos GWP e OECD (2015) salientam que esse investimento deve ser visto como uma estratégia necessária para apoiar o crescimento econômico e o bem-estar da população. Segundo o CEBDS (2015), o gerenciamento dos riscos hídricos apresenta estreita dependência com as políticas públicas.

São inúmeros os desafios e possibilidades para alcançar a segurança hídrica. Por esse motivo, Bakker (2012) defende a ampliação das pesquisas sobre segurança hídrica, pois a ampliação aumenta as possibilidades do gerenciamento integrado dos recursos hídricos. A mesma autora defende a necessidade de se estender os incentivos para contribuições substanciais para se enfrentar a crise mundial de água, equilibrando as necessidades humanas e ambientais da água, resguardando o ecossistema e biodiversidade. Ademais, Machado (2018) defende a criação e viabilização de indicadores eficazes para a segurança hídrica.

## METODOLOGIA

Visando atender ao objetivo da pesquisa que consiste em analisar variáveis para a elaboração de indicadores de segurança hídrica para os municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba a fim de gerar informações para a gestão dessas sub-bacias, o método de pesquisa é exploratório com uso de dados secundários obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2019 (BRASIL, 2019). De acordo com Severino (2007), a pesquisa exploratória tem a finalidade de levantar informações sobre um determinado objeto. Segundo Gil (2002), esse tipo de pesquisa possibilita registrar e analisar os fenômenos pesquisados e identificar as suas causas. Nesta pesquisa os estudos de casos são as sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba.

Para Yin (2010), o estudo de caso pode ser considerado um método que abrange tudo como estratégia de pesquisa, e aborda de maneira específica o planejamento para a coleta e análise de dados. Nas subseções seguintes são apresentadas a amostra da pesquisa e a forma de tratamento de dados, além da aplicação da Análise Fatorial por Componentes Principais para a elaboração de indicadores de segurança hídrica.

## Definição da Amostra

As Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – Bacias PCJ estão localizadas no centro-leste do Estado de São Paulo, um dos mais importantes territórios econômicos e urbanos do Brasil, que inclui a Região Metropolitana de Campinas – RMC e Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (Comitês PCJ, 2020a).

A região dessas bacias abrange áreas de 76 municípios, onde 62 deles possuem sede nas áreas de drenagem da região; 58 deles estão localizados no Estado de São Paulo, e os 4 restantes estão em Minas Gerais (Comitês PCJ, 2020b).

A área das Bacias PCJ ocupa 0,18% do território nacional, e concentra cerca de 2,7% da população (Comitês PCJ, 2020a). As Bacias PCJ prestam atendimento de abastecimento de água para mais de 5,8 milhões de habitantes em suas áreas, além de nove milhões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Agência das Bacias PCJ, 2020).

Para melhor gestão dos recursos hídricos, visto a alta complexidade para tomadas de decisão quanto ao uso da água, as Bacias Hidrográficas possuem divisões por sub-bacias. No caso das Bacias PCJ, são subdivididas em sete sub-bacias principais, sendo a sub-bacia do Rio Piracicaba com área total de 82,3%; a sub-bacia do Rio Capivari, com 10,2% e a sub-bacia do Rio Jundiaí, com 7,5% (Comitês PCJ, 2021).

As sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba foram escolhidas como objeto de estudo, pois possuem um cenário insustentável sobre os recursos hídricos. Segundo a Cobrape (2020), a sub-bacia do Rio Atibaia é a que apresenta a maior demanda de água das Bacias PCJ, é a terceira sub-bacia, com maior área de drenagem do Rio Piracicaba, além de se destacar negativamente pelo lançamento de esgotos de origem doméstica nas Bacias PCJ. Algumas características dessas sub-bacias estão apontadas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Caracterização das sub-bacias dos estudos de casos**

	<b>Sub-bacia Atibaia</b>	<b>Sub-bacia Piracicaba</b>
<b>Demanda de água</b>	9,78 m <sup>3</sup> /s, equivalente a 27% do total	8,34 m <sup>3</sup> /s, o equivalente a 23% do total.
<b>Área de drenagem</b>	2.818,5 km <sup>2</sup> , o que corresponde a 22% do total.	3.774,69 km <sup>2</sup> , o que corresponde a 30% do total.
<b>Carga Orgânica</b>	A remoção de carga orgânica doméstica é de 16%.	A remoção da carga orgânica é de 60%.

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em Comitês PCJ (2019) e Cobrape (2020).

Para o presente estudo a amostra incluiu todos os 42 municípios das sub-bacias estudadas, sendo que 21 estão inseridos na sub-bacia do Rio Atibaia e 25 na sub-bacia do Rio Piracicaba e alguns pertencem às duas sub-bacias.

## Tratamento dos dados

Visando aprofundar-se no estudo sobre a segurança hídrica nas sub-bacias Atibaia e Piracicaba, objeto de estudo, optou-se pelo método estatístico de análise multivariada, a fim de verificar a correlação e possíveis associações entre as variáveis (indicadores) que influenciam na segurança hídrica de cada sub-bacia culminando na construção de um índice composto.

Para a aplicação da análise multivariada, os dados coletados devem ser cuidadosamente examinados, especialmente em presença de valores faltantes. Figueiredo Filho et al. (2014) enfatizam que podem ser empregadas ações para a correção desses dados, a fim de minimizar os efeitos pelas perdas deles ou por um excesso de exclusão de variáveis. Porém, é importante frisar que, interferir o mínimo possível é a melhor escolha, para evitar uma tendência nos resultados.

Nesta pesquisa foram eliminadas as variáveis que não possuíam informação para todos os municípios e para as quais não foi possível identificar as possíveis causas dessa ausência. Por fim, foram identificados alguns municípios como Louveira, Joanópolis, Extrema e Camanducaia, que não possuíam dados como precipitação e temperatura, sendo possível coletá-los em outras plataformas, de ano subsequente (2020) ao ano de referência da pesquisa (2019). Dados de outros municípios que não foram encontrados para o ano de 2019, a tratativa dada foi considerar anos anteriores, sempre levando em conta que os dados deveriam ser o mais próximo do ano de 2019, respeitando o limite máximo dez anos atrás, para não comprometer e influenciar erroneamente os resultados da análise.

## Análise Fatorial por Componentes Principais (ACP)

A Análise Fatorial é frequentemente usada para medição de conceitos que são abstratos, como por exemplo a sustentabilidade ou até mesmo a segurança hídrica, uma vez que “(...) não se refere a uma única técnica estatística, mas a uma variedade de técnicas relacionadas desenhadas para tornar os dados observados mais facilmente interpretáveis” (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2010, p. 161).

Conforme King (1986) e Figueiredo Filho et al. (2014), o objetivo da Análise Fatorial é diminuir uma quantidade de variáveis em um número menor de fatores, minimizando a perda de informações.

Nesta pesquisa utilizou-se a Análise Fatorial Exploratória visando explorar as variáveis através da matriz de correlação. De acordo com Hair et al. (2009) e Lattin, Carrol e Green (2011), a Análise Fatorial Exploratória – AFE – é utilizada na maior parte das vezes em estágios iniciais da

pesquisa, com intuito de explorar os dados e a sua relação entre um conjunto de variáveis, para estabelecer padrões de correção.

Hair et al. (2009), Fávero e Belfiore (2017) e Figueiredo Filho et al. (2014) identificam cinco etapas para a aplicação da Análise Fatorial: verificação dos pressupostos da Análise Fatorial; cálculo da matriz de correlação e aplicação dos testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de Bartlett; extração dos fatores; rotação dos fatores e interpretação dos fatores.

Nessa pesquisa foram aplicadas as seguintes etapas propostas por Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010) ao buscar: i) verificação e adequabilidade da base de dados; ii) determinação da técnica de extração e o número dos fatores a serem extraídos; e, iii) decisão sobre o tipo de rotação utilizada para os fatores. Para a aplicação dos estudos de caso, estipulou-se i) eliminação dos indicadores sem dados por mais de 10% dos municípios; ii) busca em outras plataformas ou em anos próximos ao de 2019 quando faltavam informações para menos de 10% dos elementos da amostra; iii) técnica de extração dos componentes principais; iv) rotação da matriz dos fatores pelo método Varimax.

Visando atender aos objetivos, inicialmente foram selecionados sessenta indicadores para compor o Índice de Segurança Hídrica (I-SH). Na sequência, foi realizada a coleta dos dados dos indicadores por municípios, como forma de trazer a realidade mais localmente possível, dada as peculiaridades de cada município e região por sub-bacia. Quarenta entre os sessenta indicadores tiveram que ser descartados por não atender os níveis de adequabilidade estatísticos da Análise Fatorial, ou por não ter sido possível acessar as informações de todos os municípios nas plataformas de dados.

Para os 42 municípios inseridos nas sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, do total dos 60 indicadores pré-selecionados, 20 deles se mostraram ser apropriados para a aplicação da Análise Fatorial.

Para o presente estudo foi empregada a Análise Fatorial por Componentes Principais, cujo objetivo “é determinar a quantidade de fatores que melhor representa o padrão de correlação entre as variáveis observadas, onde a solução ótima é identificar o número mínimo de fatores que maximiza a quantidade de variância total explicada” (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2010, p. 167-168). O número de fatores extraídos foi definido com base na regra do autovalor (*eigenvalue*), conhecido como critério de Kaiser.

Para facilitar a análise das componentes selecionadas, a maioria dos estudos faz uso da rotação Varimax, um método de rotação ortogonal da matriz dos fatores visando maximizar as cargas fatoriais entre os fatores e variáveis. Como resultado cada fator tem poucas variáveis

com grande carga fatorial, ou seja, elevada correlação entre as variáveis e o fator (Hair et al., 2009, p. 119).

Em síntese, adotou-se a Análise Fatorial de Componentes Principais com a aplicação do *software Statistical Package for the Social Science* (SPSS) versão 28.0.0.0, para um conjunto de 20 variáveis dos municípios das sub-bacias de estudo, selecionando os fatores com base no critério de Kaiser e adotando a rotação Varimax.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção propõe-se a apresentar a análise dos resultados da pesquisa com base nos municípios pertencentes às sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba. Primeiramente, discorre-se sobre a seleção dos indicadores e a aplicação da Análise Fatorial obtida com o *software* SPSS. Em seguida apresentam-se os valores em ordem decrescente do I-SH dos municípios pertencentes às sub-bacias elencadas.

Vale ressaltar que apesar da fácil acessibilidade às plataformas de buscas e coletas de dados, alguns indicadores que foram julgados importantes para compor a análise tiveram que ser excluídos, considerando a ausência de dados nas bases do SNIS ou por terem o preenchimento com valores nulos para muitos municípios.

### Análise dos resultados

Para a aplicação da Análise Fatorial foram selecionados indicadores, tratados como variáveis, aquelas que estavam mais adequadas com o tema segurança hídrica. O processo de determinação das variáveis baseou-se nos estudos realizados sobre indicadores e na definição de um conceito mensurável de segurança hídrica. Os resultados apontaram que somente o conjunto de 20 variáveis seria adequado para a Análise Fatorial. O Quadro 2 apresenta as variáveis selecionadas para a elaboração do Índice de Segurança Hídrica (I-SH).

Os indicadores que definem as variáveis do grupo A relacionam-se às diferentes facetas dos serviços prestados: total, discriminados por tipo (água ou saneamento), e por local de residência. Os indicadores do grupo V descrevem as condições de demanda e oferta de água, de acordo com as categorias previstas no SNIS. Os indicadores do grupo P definem as variáveis relacionadas às perdas de água, seja por distribuição, ligação ou faturamento. Os indicadores do grupo U levam em conta a taxa de urbanização, a taxa da cobertura com pavimentação e a densidade demográfica. Os

indicadores do grupo D englobam os riscos de inundação e o número de internações relacionadas às doenças de veiculação hídrica e por fim, os indicadores do grupo E relacionam-se às condições climáticas - temperatura e precipitação.

**Quadro 2 - Variáveis selecionadas para a elaboração do I-SH**

Variáveis	Fonte
<b>A1</b> População urbana atendida com esgotamento sanitário	SNIS
<b>A2</b> População total atendida com esgotamento sanitário	SNIS
<b>A3</b> População urbana atendida com abastecimento de água	SNIS
<b>A4</b> População total atendida com abastecimento de água	SNIS
<b>A5</b> Índice de atendimento total de água	SNIS
<b>A6</b> Índice de coleta de esgoto	SNIS
<b>V1</b> Consumo médio <i>per capita</i> de água	SNIS
<b>V2</b> Volume de água faturado	SNIS
<b>V3</b> Volume de água consumido	SNIS
<b>V4</b> Volume de água produzido	SNIS
<b>P1</b> Índice de perdas na distribuição	SNIS
<b>P2</b> Índice de perdas por ligação	SNIS
<b>P3</b> Índice de perdas faturamento	SNIS
<b>U1</b> Taxa de Urbanização	IBGE/SEADE
<b>U2</b> Taxa de cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município	SNIS
<b>U3</b> Densidade demográfica	IBGE/SEADE
<b>D1</b> Quantidade de domicílios sujeitos a risco de inundação	SNIS
<b>D2</b> Doenças de veiculação hídrica – Internações	DATASUS
<b>E1</b> Temperatura	CIIAGRO/CLIMATE
<b>E2</b> Precipitação	CIIAGRO/CLIMATE

Fonte: Elaborado pelas autoras.

A fim de verificar a adequabilidade da Análise Fatorial para o conjunto de dados propostos, foram realizados dois testes: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Bartlett (Tabela 1) para confirmar se a extração de fatores é adequada.

**Tabela 1 - Teste de KMO e Bartlett**

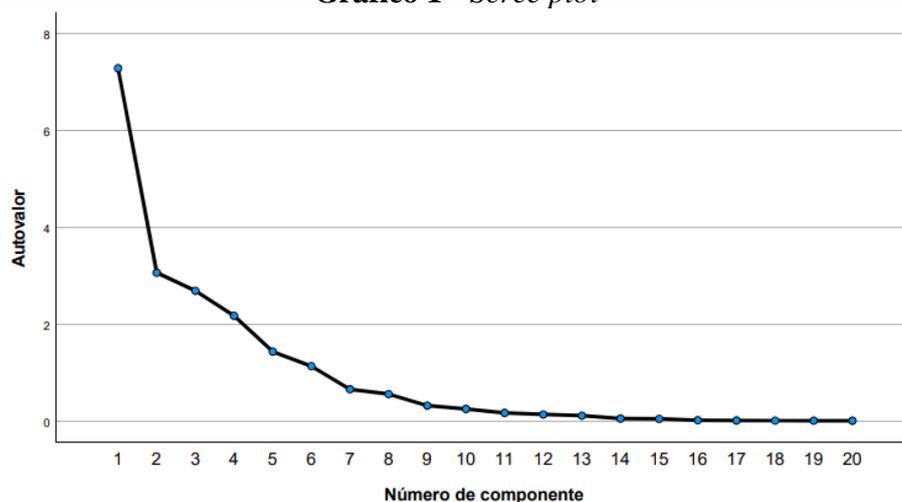
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem		0,659
Teste de esfericidade de Bartlett	Aprox. Qui-quadrado	1755,513
	gl	190
	Sig.	<0,001

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Conforme os resultados obtidos (Tabela 1), observa-se que a estatística  $KMO = 0,659$  aponta para um nível de adequação global da análise fatorial razoável, de acordo com os valores apontados por Favéro e Belfiore (2017). O nível de significância do teste de Bartlett apresenta um valor próximo a zero permitindo rejeitar a hipótese de que a matriz de correlações tem valores fora da diagonal principal estatisticamente iguais a zero. Os resultados obtidos nos testes possibilitam confirmar que a técnica da Análise Fatorial é adequada.

Após a rodada do SPSS identificaram-se seis componentes principais de acordo como critério de Kaiser, considerando somente aquele cujo autovalor é maior que 1, conforme ilustra o Gráfico 1.

**Gráfico 1 - Scree plot**



Fonte: Elaborado pelas autoras.

A partir do Gráfico 1 e do Quadro 3 é possível visualizar os autovalores de todos os componentes que podem ser extraídos do banco de dados. No presente estudo, o Fator 1 extraído explica mais de 36% da variância total dos dados, sendo que cumulativamente os seis fatores explicam quase 89% da variância (Quadro 3, coluna 6).

**Quadro 3 - Variância total explicada pelos seis fatores selecionados**

Componente	Autovalores iniciais			Somadas de extração de carregamentos ao quadrado			Somadas de rotação de carregamentos ao quadrado		
	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa
1	7,276	36,382	36,382	7,276	36,382	36,382	5,429	27,147	27,147
2	3,057	15,285	51,668	3,057	15,285	51,668	3,368	16,841	43,988
3	2,684	13,42	65,088	2,684	13,42	65,088	3,174	15,872	59,86
4	2,168	10,841	75,929	2,168	10,841	75,929	2,152	10,758	70,617
5	1,428	7,141	83,07	1,428	7,141	83,07	1,901	9,504	80,121
6	1,127	5,637	88,707	1,127	5,637	88,707	1,717	8,586	88,707
7	0,65	3,249	91,956						
8	0,551	2,754	94,71						
9	0,312	1,561	96,271						
10	0,243	1,216	97,487						
11	0,162	0,811	98,298						
12	0,131	0,656	98,954						
13	0,106	0,529	99,483						
14	0,046	0,228	99,71						
15	0,039	0,196	99,907						
16	0,011	0,053	99,96						
17	0,005	0,024	99,984						
18	0,003	0,014	99,997						
19	0,001	0,003	100						
20	1,02E-08	5,12E-08	100						

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Seguindo as etapas descritas na seção da metodologia, visando melhorar as cargas fatoriais, ou seja, as correlações entre as variáveis originais e os fatores extraídos, foi aplicada a rotação Varimax. Os resultados encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2 - Cargas fatoriais dos fatores rotacionados: matriz de componente rotativa**

Variáveis	Fatores					
	1	2	3	4	5	6
A1	0,957	0,071	0,062	0,037	0,049	0,140
A2	0,914	0,131	0,081	0,227	0,067	0,188
A3	0,913	0,069	0,118	-0,134	0,097	0,130
A4	0,897	0,159	0,123	0,229	0,088	0,192

A5	0,897	0,159	0,123	0,229	0,088	0,192
A6	0,811	0,060	0,185	0,061	-0,021	-0,072
V1	-0,180	0,961	-0,046	0,017	0,013	-0,143
V2	0,256	0,938	0,057	0,100	0,014	0,035
V3	0,315	0,935	0,024	0,111	0,062	-0,029
V4	0,303	0,746	0,567	0,091	0,064	0,015
P1	0,052	-0,017	0,970	-0,052	-0,015	0,061
P2	0,154	0,099	0,956	0,084	0,093	0,060
P3	0,235	0,058	0,918	-0,025	0,056	-0,032
U1	0,002	0,134	0,041	0,894	0,076	0,158
U2	0,254	0,037	-0,136	0,832	0,028	-0,045
U3	0,130	0,064	0,137	0,567	0,314	0,209
D1	0,052	0,030	0,103	0,034	0,942	0,029
D2	0,127	0,049	-0,008	0,233	0,923	0,048
E1	0,273	0,000	0,088	0,248	0,038	0,804
E2	-0,177	0,117	0,011	-0,027	-0,053	-0,903

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Após a extração e organização dos componentes para melhor visualização, foi realizada a análise de cada um dos fatores no contexto da segurança hídrica dos municípios das sub-bacias Atibaia e Piracicaba estudados nesta pesquisa.

Na Tabela 2 estão dispostas as cargas fatoriais, as variáveis e os fatores. Observa-se uma elevada correlação positiva entre a variável População urbana atendida com esgotamento sanitário e o primeiro fator, a carga fatorial é 0,957. Pode-se dizer que, para os municípios estudados, onde o Fator 1 é predominante, a realidade é de que a população residente em áreas urbanas possui alto atendimento para o esgotamento sanitário. O mesmo ocorre para a variável População total atendida com esgotamento sanitário, o que explica a boa segurança hídrica quando se trata de coleta de esgoto e abastecimento de água, tanto para a População total quanto para a urbana, o que evidencia a correlação do Fator 1 com a qualidade e quantidade de água.

As variáveis elencadas no Fator 1 estão estritamente relacionadas ao abastecimento de água e esgoto. Portanto, o Fator 1 está relacionado positivamente com o atendimento de água e esgoto, e, conseqüentemente contribui positivamente com a segurança hídrica. Pela sua natureza de primeiro fator extraído, responsável por mais de 27% da variância total, é possível identificar que esse fator é o mais representativo quando se trata de segurança hídrica e elenca os municípios que possuem níveis mais adequados quanto a esse aspecto.

O Fator 2 está positivamente correlacionado com quatro variáveis: Consumo médio *per capita* de água; Volume de água faturado; Volume de água consumido e Volume de água produzido. Este Fator relaciona variáveis passíveis de serem mensuradas, porém com mais desafios para serem monitoradas. No Fator 2 prevalecem as variáveis relacionadas ao consumo de água, portanto refletem componentes que contribuem negativamente para a segurança hídrica.

Já o Fator 3 está positivamente correlacionado à ineficiência dos serviços prestados pelas operadoras locais e ao comportamento da população, pois engloba as seguintes variáveis: Índice de perdas na distribuição, Índice de perdas por ligação, Índice de perdas faturamento. Alguns fatores que podem acarretar negativamente as perdas descritas neste componente são ligações irregulares em residências ou até mesmo em empresas, o que faz com que haja perdas no faturamento. Os resultados revelam que estas variáveis necessitam de maior atenção quando se aborda a segurança hídrica, pois um município que possui altos níveis de perdas, seja por ligação, distribuição ou faturamento, necessita de maiores investimentos para conter as perdas que podem impactar tanto nos gastos públicos e privados, a depender da autarquia, que afeta diretamente a questão econômica do município, bem como a social, onde a água pode não chegar de maneira adequada ao consumidor final. O Fator 3, pela sua forte relação com as perdas na distribuição, sintetiza variáveis que contribuem negativamente com a segurança hídrica.

No Fator 4 as maiores correlações são identificadas com as variáveis: Taxa de Urbanização, Taxa de cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município e Densidade Demográfica, intimamente relacionadas às modificações destes espaços pelos processos de urbanização. Deve-se levar em consideração o *habitat* que de rural passa a ser urbano, a tendência é que fatores naturais sejam alterados, a exemplo o ciclo natural da água, que ocasiona eventos hidrológicos extremos, seja seca ou inundação, que igualmente pode ser explicado pela baixa arborização. O Fator 4 permite explicar como a urbanização afeta a segurança hídrica. Os municípios que são totalmente urbanizados tendem a possuir níveis mais alarmantes quanto aos eventos hidrológicos extremos, que podem ser explicados igualmente pela pavimentação, por conta da modificação do solo, entre outras questões. O Fator 4 está fortemente relacionado com a urbanização, o que impacta negativamente na segurança hídrica dos municípios.

O Fator 5 tem cargas fatoriais positivas e elevadas com as variáveis Quantidade de domicílios sujeitos a risco de inundação e Doenças de veiculação hídrica, que são dimensões importantes quando se discute o tema da segurança hídrica. Essas variáveis estão diretamente relacionadas às questões sociais, e fortemente ligadas a eventos hidrológicos extremos, possivelmente relacionadas

com a falta de investimentos e as carências de infraestrutura de saneamento básicos para os moradores mais carentes. Portanto o Fator 5 também resume condições que impactam negativamente a segurança hídrica.

O Fator 6, por sua vez, está mais influenciado pelas variáveis Precipitação e Temperatura, questões que estão relacionadas com as alterações climáticas. Tendo uma carga fatorial elevada positiva com a variável temperatura e uma carga fatorial elevada, mas negativa com a variável precipitação. Este Fator sintetiza as condições meteorológicas adversas à segurança hídrica.

Os resultados apresentados em relação aos fatores permitem observar que a dimensão ambiental da segurança hídrica pode ser explicada pelos bons resultados quanto ao tratamento e atendimento de esgoto sanitário, relevantes à saúde da população. A questão ambiental pode ser observada a partir dos impactos que as modificações urbanas ocasionam no meio, denunciando a falta de planejamento nas cidades e de orientação à população.

Já a dimensão social é explicada pela população atendida com água e com a coleta de esgoto, o que reforça a importância da água e da coleta do esgoto para a manutenção da saúde e desenvolvimento de atividades básicas para a subsistência, que pode gerar economia aos gastos públicos com a saúde provenientes da água. Além disso, a população vulnerável é mais suscetível a ocupar domicílios atingidos por inundações. Em relação à dimensão econômica observa-se que está relacionada às doenças, que podem ser mensuradas pela quantidade de internações e gastos públicos que poderiam ser evitados.

### **I-SH dos municípios das sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba**

A partir dos fatores identificados aplicando a ACP foi possível determinar o Índice de Segurança Hídrica (I-SH) para os municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba de acordo com a equação (1).

$$I-SH = 27,147F1 - 16,841F2 - 15,872F3 - 10,758F4 - 9,504F5 - 8,586F6 \quad (1)$$

Em que  $F_i$  - Fator  $i$ ,  $i = 1, \dots, 6$

Os municípios, classificados em ordem decrescentes, e o respectivo I-SH encontram-se na Tabela 3.

A Tabela 3 ilustra os valores em ordem decrescente do I-SH dos municípios, agrupando-os para cada sub-bacia. Pode-se notar que o município Nazaré Paulista, pertencente à sub-bacia do Rio Atibaia, obteve o pior desempenho quanto à segurança hídrica. Já Iracemápolis, pertencente à sub-

bacia do Rio Piracicaba destaca-se como o município com as melhores condições de segurança hídrica.

De acordo com os seis fatores extraídos do SPSS, os municípios que mais se aproximam de uma condição ideal de segurança hídrica são Iracemápolis, na primeira colocação, seguido dos municípios de Cordeirópolis, Saltinho, Anhembi e Morungaba.

Ao comparar o I-SH dos municípios das duas sub-bacias elencadas, observa-se que aproximadamente 48% dos municípios da sub-bacia do Rio Piracicaba se encontram nos quintis mais elevados, ou seja, quase metade dos municípios desta sub-bacia apresentam os melhores resultados no I-SH, contra 31% dos municípios da sub-bacia do Rio Atibaia. Esses resultados permitem concluir que a sub-bacia do Rio Piracicaba apresenta melhores condições de segurança hídrica. Entretanto, faz-se necessário uma gestão integrada entre os municípios e os fatores obtidos na Tabela 3, no sentido de identificar a situação hídrica para cada município, tendo em vista que o I-SH proposto baseia-se em fatores não diretamente observáveis, mas que estão fortemente relacionados com os elementos relevantes quando se discute segurança hídrica.

**Tabela 3 - I-SH dos municípios inseridos nas sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba**

	Municípios	I-SH	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
Sub-bacia do Rio Piracicaba	Iracemápolis	<b>83,57</b>	1,15	-1,58	-1,64	0,82	-0,6	-0,33
	Saltinho	<b>58,39</b>	0,69	-0,19	-1,21	-1,94	-0,17	0,61
	Anhembi	<b>51,03</b>	0,22	-0,63	-0,26	-2,6	-0,03	-0,24
	Brotas	<b>39,29</b>	0,99	0,54	0,13	-0,82	-0,17	-1,53
	Capivari	<b>32,44</b>	0,48	-0,14	-1,24	0,47	-0,4	0,16
	Torrinha	<b>27,88</b>	0,51	-0,44	-0,03	-0,55	-0,53	0,56
	Limeira	<b>23,56</b>	0,54	0,26	-1,68	0,5	0,58	0,29
	Dois Córregos	<b>20,96</b>	0,57	-0,48	0,32	-0,06	-0,13	-0,07
	Nova Odessa*	<b>18,43</b>	0,68	-0,12	-0,27	0,72	-0,32	0,19
	Monte Mor	<b>17,91</b>	0,34	-0,05	-0,73	-0,25	-0,38	1,17
	Cosmópolis*	<b>13,43</b>	0,36	0,76	-0,79	-0,2	-0,33	0,16
	Charqueada	<b>8,44</b>	0,23	-0,15	0,22	-0,12	-0,45	0,28
	Itirapina	<b>4,93</b>	-0,22	0,06	0,01	-0,81	-0,38	0,03
	Paulínia*	<b>-1,71</b>	0,36	0,46	-0,75	0,53	-0,3	1,49
	Santa Maria da Serra	<b>-12,37</b>	-0,79	-0,04	-1,1	-0,28	-0,42	1,87
	Rio das Pedras	<b>-15,53</b>	0,22	-0,7	1,74	0,57	-0,78	0,81
	São Pedro	<b>-18,93</b>	0,2	0,6	1,35	-2,24	-0,27	2,27
	Sumaré	<b>-20,18</b>	0,22	-0,56	0,74	0,95	0,99	0,49
	Hortolândia	<b>-21,69</b>	0,24	-0,51	0,14	1,84	0,2	1,5
	Americana*	<b>-30,42</b>	0,34	0	1,42	1,28	0,18	0,19
Santa Bárbara D' Oeste	<b>-33,04</b>	0,31	-0,14	2,33	0,98	-0,58	0,21	
Campo Limpo Paulista	<b>-35,98</b>	-1,17	-0,71	0,76	0,92	-0,22	-0,43	
Campinas*	<b>-35,99</b>	0,14	0,14	-1,23	0,28	5,45	0,25	
Piracicaba	<b>-60,19</b>	0,26	0,62	2,47	-0,2	2,07	0,01	
Sub-bacia	Cordeirópolis	<b>58,89</b>	1,02	-0,09	-1,28	-0,36	-0,37	-0,23
	Morungaba	<b>43,47</b>	0,57	-0,96	-0,1	-0,03	-0,52	-0,58

Bragança Paulista	<b>28,99</b>	0,3	-0,31	-0,97	0,46	-0,31	-0,26
Itatiba	<b>27,62</b>	0,33	-0,55	0,53	-1,43	-0,02	-0,26
Camanducaia	<b>24,41</b>	-0,58	-0,21	0,18	-1,94	0,4	-2,61
Nova Odessa*	<b>18,43</b>	0,68	-0,12	-0,27	0,72	-0,32	0,19
Cosmópolis*	<b>13,43</b>	0,36	0,76	-0,79	-0,2	-0,33	0,16
Joanópolis	<b>12,59</b>	-1,16	-0,51	-1,45	0,96	-0,34	-2,28
Valinhos	<b>3,11</b>	0,27	-0,01	0,2	0,52	-0,47	0,01
Jaguariúna	<b>0,26</b>	0,5	0,24	0,52	0,69	-0,62	-0,06
Paulínia*	<b>-1,71</b>	0,36	0,46	-0,75	0,53	-0,3	1,49
Jundiaí	<b>-7,44</b>	0,58	0,62	0,29	0,79	0,45	-0,54
Extrema	<b>-9,63</b>	-0,63	0,17	0,96	-0,4	-0,16	-2,3
Atibaia	<b>-10,49</b>	-0,15	-0,4	1,16	-0,8	0,56	-0,23
Vinhedo	<b>-14,6</b>	-0,08	0,38	0,17	0,81	-0,16	-0,45
Americana*	<b>-30,42</b>	0,34	0	1,42	1,28	0,18	0,19
Campinas*	<b>-35,99</b>	0,14	0,14	-1,23	0,28	5,45	0,25
Piracaia	<b>-54,06</b>	-2,1	-0,31	-0,23	0,57	-0,42	0,44
Jarinu	<b>-54,49</b>	-2,37	-0,2	-0,13	-1,49	0,12	1,22
Nazaré Paulista	<b>-115,76</b>	-4,32	-0,11	-0,4	0,58	-0,07	0,13

\*Municípios inseridos nas duas sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se trata de gestão das águas, pode-se notar que o Brasil é referência mundial, pois possui leis que respaldam e dão suporte a uma gestão mais descentralizada, que segundo órgãos competentes como a ANA, é algo fundamental para a tratativa de questões relacionadas à água e ao saneamento.

As questões que envolvem o conceito de segurança hídrica ainda estão em discussão, entretanto no Brasil houve grandes conquistas nos últimos anos, com a construção do PNSH em 2019, documento que aborda a segurança hídrica em diversas dimensões da sustentabilidade, incorporando a de resiliência, com panorama geral sobre o atual cenário e possíveis ações a serem adotadas para alcançar a segurança hídrica nacionalmente. Apesar de no Brasil existir um Plano Nacional de Segurança Hídrica, este instrumento ainda é bastante recente em sua abordagem e as discussões levantadas, e não há uma especificidade de fato definida para que a segurança hídrica seja amplamente alcançada em território nacional e mundial.

Vale destacar que discussões e constatações provenientes da ANA sobre segurança hídrica são de suma importância para os avanços da temática no Brasil, principalmente mediante os atuais cenários de pressão antrópica, que impactam diretamente a demanda e uso de água da região em que as Bacias PCJ estão inseridas, tendo em vista que a atual disponibilidade de água dessas bacias não atende a necessidade *per capita* de água da região.

Ao tratar de segurança hídrica a pesquisa evidenciou a relevância de estudos de indicadores de sustentabilidade para o monitoramento e avaliação de fatores que se desejam estudar e atingir, sobretudo para a segurança hídrica no sentido de fornecer possíveis direcionamentos para políticas públicas e planos governamentais.

Dessa forma, a pesquisa com base em indicadores de segurança hídrica aplicados às sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba teve sua relevância considerando os desafios das condições das águas destas sub-bacias evidenciadas nos relatórios dos Comitês PCJ.

Nota-se que os atuais meios de armazenamento e disposição de dados não estão sendo realizados através de indicadores por município, pois houve dificuldade na coleta de dados para o ano de 2019, considerando que alguns municípios não disponibilizam esta informação para alguns indicadores.

Desse modo, nota-se a validação do conjunto de indicadores de sustentabilidade escolhido como um instrumento adequado de gestão para se estabelecer um I-SH por município, das respectivas sub-bacias. Através dos dados dos indicadores coletados, pôde-se construir um I-SH, permitindo assinalar os municípios com maiores desafios para garantir a segurança hídrica. Além disso, pelo fato de ter construídos o I-SH a partir de dados públicos e facilmente acessíveis, este índice pode ser aplicado e replicado com facilidade em outros municípios e demais sub-bacias.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Disponibilidade Hídrica:** águas superficiais, 2020. Disponível em: <http://www.agenciapcj.org.br/novo/informacoes-das-bacias/disponibilidade-hidrica>. Acesso em: 5 dez. 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Brasília: Brasil, 2019. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BAKKER, K. Water security: research challenges and opportunities. **Science**, v. 337, n. 6097, p. 914-915, 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS.

**Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019, 2020.** Brasília: SNS/MDR. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Rpublicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Rpublicacao_31032021.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.

BRASIL DAS ÁGUAS. **A importância da água.** Brasília: [Geeks Propaganda e Marketing](http://geekspropagandaemarketing.com.br), 2013. Disponível em: <http://brasildasaguas.com.br>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). **Gerenciamento de Riscos Hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades.** São Paulo: CTÁgua, 2015. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/gerenciamento-de-riscos-hidricos/#.YKgcELdKjZ4>. Acesso em: 05 dez. 2021.

CIIAGRO. Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>. Acesso em: 05 dez. 2021.

CLIMATE. Clima São Paulo. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-paulo-655/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

COBRAPE. Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. **Relatório Final.** Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020. Piracicaba: Cobrape, 2020.

COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2019:** ano base 2018, versão simplificada. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Sumário Executivo:** Plano De Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035. Executado e organizado pelos Comitês das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. – Porto Alegre: Consórcio Profill-Rhama PCJ, 2020a.

COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório Final:** Plano De Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035. Piracicaba: Consórcio Profill-Rhama PCJ, 2020b.

COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2020:** ano base 2019, versão simplificada. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2021.

DATASUS. **Tecnologia da Informação a Serviço do SUS.** Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrmg.def>. Acesso em: 05 dez. 2021.

EEA. European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and overview. Luxembourg. **Technical Report**, n. 25, 1999. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>. Acesso em: 24 jan. 2022.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados:** Estatística e modelagem



multivariada com Excel, SPSS e Stata. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. et al. Análise fatorial garantida ou o seu dinheiro de volta: uma introdução à redução de dados. **RECP**, v. 5, n. 2, p. 185-211, 2014.

GEO BRASIL. **Recursos Hídricos**: resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GWP/OECD. *Global Water Partnership/*Organization for Economic Co-operation and Development. **Securing Water, Sustaining Growth**. University of Oxford, 2015. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/the-global-dialogue/securing-water-sustaining-growth.pdf>. Acesso em 28 jul. 2020.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). **Séries Históricas e Estatísticas**. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Segurança hídrica para um planeta sob pressão**. Transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções. Londres: Planet under Pressure, 2012. Disponível em: [http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water\\_FINAL\\_LR-portugues.pdf](http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water_FINAL_LR-portugues.pdf). Acesso em: 28 jul. 2020.

JANNUZZI, P. de M. Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. **Revista Do Serviço Público**, v. 56, n. 2, p. 137-160, 2014. <https://doi.org/10.21874/rsp.v56i2.222>

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de Dados Multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

KING, G. How Not to Lie with Statistics: Avoiding Common Mistakes in Quantitative Political Science. **American Journal of Political Science**, v. 30, n. 3, p. 666-687, 1986. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1084228>. Acesso em: 05 dez. 2021.

MACHADO, F. H. **Proposição de Indicadores de Segurança Hídrica**: Seleção, Validação e Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim, Jundiá – SP, Brasil. 2018. 255 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual



Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/153669>. Acesso em: 05 dez. 2021.

MELO, C. R.; JOHNSON, M. F. O Conceito Emergente de Segurança Hídrica. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2017. Disponível em: [http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4325/pdf\\_5](http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4325/pdf_5). Acesso em: 28 jul. 2020.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators: towards sustainable development**. Environment, 2001. Disponível em: <https://www.oecd.org/site/worldforum/33703867.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Environment at a Glance 2013**. OECD Indicators. OECD Publishing, 2013a. Disponível em: [https://read.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance-2013\\_9789264185715-en#page4](https://read.oecd-ilibrary.org/environment/environment-at-a-glance-2013_9789264185715-en#page4). <http://dx.doi.org/10.1787/9789264185715-en>. Acesso em: 22 out. 2021.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Water security for better lives: a summary for policymakers**, 2013b. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/resources/Water%20Security%20for%20Better%20Lives-%20brochure.pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.

PORTO, D. T.; BASSO, L. A.; STROHAECKER, T. M. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Mampituba, Região Sul do Brasil, utilizando a matriz FPEIR. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 28-50, 2019. <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p28>

SANTOS, A. C. dos; REIS, A.; MENDIONDO, E. M. Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras. **Revista Dae**, [s.l.], v. 68, n. 225, p. 167-179, 2020. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.060>

SEADE. Fundação SEADE. (2021). **Perfil dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://perfil.seade.gov.br/>.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. A **Água**. São Carlos: Scienza, 2020.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization. **Water Security**, 2019. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security>. Acesso em: 22 out. 2021.

UNESCO i-WSSM. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization; International Centre for Water Security and Sustainable Management. **Water Security and the Sustainable Development Goals**. Unesco/Unescoi-Wssm, 2019. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef\\_0000367904&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach\\_import\\_0ef4ee7a-8fd4-4909-9572-b17a7cc4e8eb%3F%3D367904eng.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000367904/PDF/367904eng.pdf#WaterWeb.indd%3A.32912%3A24](https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000367904&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_0ef4ee7a-8fd4-4909-9572-b17a7cc4e8eb%3F%3D367904eng.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000367904/PDF/367904eng.pdf#WaterWeb.indd%3A.32912%3A24). Acesso em: 11 nov. 2021.



UN-WATER. United Nations Water. **What is Water Security?** Infographic. Nova York: UN-Water, 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/#:~:text=%E2%80%9CThe%20capacity%20of%20a%20population,ecosystems%20in%20a%20climate%20of>. Acesso em: 22 out. 2021.

[VAN BELLEN, H. M.](#) Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cad. EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1679-39512004000100002>

[VAN BELLEN, H. M.](#) **Indicadores de Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

WATERAID. **Water security framework**. Londres: WaterAid, 2012. Disponível em: <https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/download-our-water-security-framework.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

WaterAid. **Water security**. Londres: WaterAid, 2020. Disponível em: <https://washmatters.wateraid.org/water-security>. Acesso em: 11 nov. 2021.

WWC. World Water Council. Water and Climate Change. **Conselho Mundial da Água**, 2020. Disponível em: <https://www.worldwatercouncil.org/en/water-and-climate-change>. Acesso em: 11 nov. 2021.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Trad. Daniel Grassi. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.