



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

MILENA DALETH DO AMARAL VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MUNICÍPIOS DO AGRESTE  
PARAIBANO**

Campina Grande – PB

Maio de 2021

MILENA DALETH DO AMARAL VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MUNICÍPIOS DO AGRESTE  
PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra.<sup>a</sup> Andréa Carla Lima Rodrigues

Coorientadora: M.<sup>a</sup> Roberta Lima de Lucena

Campina Grande – PB

Maio de 2021

MILENA DALETH DO AMARAL VIEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MUNICÍPIOS DO AGRESTE  
PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande – UFCG, para  
encerramento do componente curricular e  
conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Carla Lima Rodrigues**  
(Orientadora - Universidade Federal de Campina Grande)

---

**M.<sup>a</sup> Roberta Lima de Lucena**  
(Coorientadora - Universidade Federal de Campina Grande)

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa**  
(Examinador Interno - Universidade Federal de Campina Grande)

---

**Dr. Armando César Rodrigues Braga**  
(Examinador Externo)

## DEDICATÓRIA

**A Jesus Cristo, meu Salvador.**

*“Porque dele, e por meio dele, e para ele são todas as coisas. A Ele, pois, a glória eternamente. Amém!”*

Romanos 11:36

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois tudo que sou, o que tenho e o que vier a ser são dádivas dele, assim como toda habilidade intelectual, profissional ou técnica adquiridas. Como forma de gratidão, desejo seguir glorificando-o em minha caminhada profissional. Que toda honra e glória sejam dadas a Ele!

A minha família, especialmente aos meus pais, Evaristo e Rosalma, que se dedicaram com esmero para minha formação. Todas as minhas conquistas são frutos de seus esforços, não há palavras suficientes que demonstrem minha gratidão. Ao meu irmão, por todo incentivo durante esta caminhada. Vocês são presentes de Deus.

Ao meu noivo, Thiago, com quem compartilho todos os sonhos, lutas e conquistas. Sou grata por estar sempre ao meu lado, me ouvindo e me orientando à luz da palavra de Deus. Como é bom partilhar a vida com você, e saber que estaremos juntos até a eternidade.

A minha orientadora Professora Andréa Carla, que me orientou sempre com muita paciência e doçura. Sua disponibilidade e confiança foram essenciais para o desenvolvimento dessa pesquisa. A senhora é um grande exemplo para mim!

A minha coorientadora Roberta Lima, com quem compartilhei desafios e dificuldades. Obrigada por me acompanhar e orientar nesta pesquisa e no PMSB.

Agradeço a Universidade Federal de Campina Grande, incluindo todos os funcionários e professores, em especial as professoras Iana Rufino, Dayse Luna e Patrícia Hermínio. Sou grata por todos os ensinamentos, amizade e oportunidades que me proporcionaram. Obrigada por terem confiado em mim para o desenvolvimento de pesquisas e monitoria, todas as experiências adquiridas com esses projetos foram essenciais em minha formação. Meu desejo é que todo o conhecimento adquirido com vocês contribua para o progresso da engenharia.

Aos meus amigos da graduação Gabriele, Mateus, Luma, Teresa, Geovanna e Hamilton. Todas as experiências que vivemos ficarão marcadas em minha memória. Obrigada por terem tornado essa caminhada mais bela, leve e alegre de viver.

Por fim, agradeço também aos meus amigos e irmãos da Igreja Presbiteriana do Jardim, uma verdadeira família chamada igreja. Sem a contribuição diária de vocês eu não teria chegado até aqui.

## **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**

Desenvolvimento de um índice para avaliação do desempenho do sistema de abastecimento de água de municípios do agreste paraibano.

**Autora:** Milena Daleth do Amaral Vieira

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andréa Carla Lima Rodrigues

**Coorientadora:** Roberta Lima de Lucena

**Examinadores:** Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa e Dr. Armando César Rodrigues Braga

### **RESUMO**

Os principais problemas relacionados à água decorrem majoritariamente do mau gerenciamento dos recursos hídricos, sendo necessária a adoção de novos direitos, deveres e ações relativas à utilização deste recurso finito. Com o passar dos anos, o manejo adequado da água tornou-se um dos temas centrais do planejamento urbano. O uso de indicadores de desempenho para avaliação dos sistemas de abastecimento de água é uma das ferramentas que têm auxiliado na mitigação desse problema. Portanto, o presente estudo objetivou desenvolver um índice de desempenho do serviço de abastecimento de água (IDSA) para municípios de pequeno porte do agreste paraibano, a partir da análise de um conjunto de indicadores. Os municípios estudados estão sendo trabalhados no Termo de Execução Descentralizada 03/2019 firmado entre a Fundação Nacional de Saúde e a Universidade Federal de Campina Grande e são eles: Areia, Bananeiras, Boa Vista, Caiçara, Casserengue, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio, Riachão, Sertãozinho e Solânea. Foram selecionados doze indicadores distribuídos nas categorias: operacional, qualidade, infraestrutura e financeiros, cuja escolha se baseou nas propostas de entidades conceituadas, disponibilidade de dados trabalhados e adequação à realidade local. Realizou-se as etapas de normalização, ponderação e agregação destes indicadores, a fim de se obter a classificação do desempenho de cada município a partir de uma escala nominal. A etapa de ponderação foi baseada no julgamento de especialistas na área, através do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Como ferramentas de apoio à análise, processamento e distribuição espacial dos dados, foram utilizados os softwares Quantum GIS 3.16.1 e Excel. Por fim, obteve-se a classificação do índice de desempenho do serviço de abastecimento de água, sendo sete municípios classificados como 'BOM', três como 'REGULAR', um como 'ÓTIMO' e um como 'RUIM'. O município que apresentou melhor resultado foi Caiçara, com um índice de 82,27, Casserengue obteve o pior desempenho, com um índice de 37,61.

**Palavras-chave:** Serviço de saneamento básico; Indicadores de desempenho; Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

## ABSTRACT

The main problems related to water are, mainly, a direct consequence of the poor management of resources, requiring the adoption of new rights, duties and actions related to the use of this finite utility. Over the years, the discussion of proper water management turned into one of the main subjects of urban planning. The use of performance indicators to assess water supply systems is one of the tools that help to mitigate this problem. Therefore, the present study aimed to develop a water supply service performance index (IDSA) for small cities in the agreste region in Paraíba, Brazil, based on the analysis of a specific quantity of indicators. The studied cities are mentioned in the “Decentralized Execution Term 03/2019” signed between the National Health Foundation and the Federal University of Campina Grande. Those cities are: Areia, Bananeiras, Boa Vista, Caiçara, Casserengue, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio, Riachão, Sertãozinho and Solânea. In this paper, twelve indicators were selected, distributed in the following categories: operationality, quality, infrastructural and financial, whose choice was based on the proposals of other known entities, availability of data and adaptation to the reality of the cities analysed. The stages of normalization, weighting and aggregation of these indicators were completed, in order to obtain the classification of the performance of each city from a nominal scale. The weighting step was based on the judgment of specialists in the subject, through the Analytic Hierarchy Process (AHP). As tools to support the analysis, processing and spatial distribution of data, Quantum GIS 3.16.1 and Excel software were used. Finally, the water supply service performance index was obtained. Of the overall cities, seven were classified as 'GOOD', three as 'REGULAR', one as 'GREAT' and one as 'BAD'. The city with the best result was Caiçara, with an index of 82.27, Casserengue had the worst result, with an index of 37.61.

**Keywords:** Basic Sanitation Service; Performance indicators; Analytic Hierarchy Process (AHP).

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> UNIDADES CONSTITUINTES DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	21
<b>FIGURA 2:</b> RELAÇÃO ENTRE DADOS PRIMÁRIOS, DADOS AGREGADOS, INDICADORES E ÍNDICES .....	29
<b>FIGURA 3:</b> LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS MUNICÍPIOS E DIVISÃO MESORREGIONAL.....	32
<b>FIGURA 4:</b> INDICADORES SELECIONADOS POR CATEGORIA.....	34
<b>FIGURA 5:</b> ETAPAS PARA A CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE DESEMPENHO.....	41
<b>FIGURA 6:</b> ESTRUTURA HIERÁRQUICA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE.....	47
<b>FIGURA 7:</b> MAPA DOS INDICADORES OPERACIONAIS PARA OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS, DISTRIBUÍDOS POR FAIXAS NUMÉRICAS.....	62
<b>FIGURA 8:</b> MAPA DOS INDICADORES DE QUALIDADE PARA OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS, DISTRIBUÍDOS POR FAIXAS NUMÉRICAS.....	63
<b>FIGURA 9:</b> MAPA DOS INDICADORES INFRAESTRUTURAIS PARA OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS, DISTRIBUÍDOS POR FAIXAS NUMÉRICAS.....	64
<b>FIGURA 10:</b> MAPA DOS INDICADORES FINANCEIROS PARA OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS, DISTRIBUÍDOS POR FAIXAS NUMÉRICAS.....	65
<b>FIGURA 11:</b> MAPEAMENTO DO ÍNDICE E CLASSIFICAÇÃO NOMINAL.....	70
<b>FIGURA 12:</b> GRÁFICO DA INFLUÊNCIA DE CADA CATEGORIA NO ÍNDICE GERAL POR MUNICÍPIO .....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> LIMITES SUPERIOR E INFERIOR DOS INDICADORES EM ESTUDO.....	43
<b>TABELA 2:</b> ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY.....	48
<b>TABELA 3:</b> ÍNDICE RANDÔMICO MÉDIO DO AHP .....	50
<b>TABELA 4:</b> CATEGORIAS DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	52
<b>TABELA 5:</b> RESULTADOS DOS INDICADORES OPERACIONAIS .....	53
<b>TABELA 6:</b> RESULTADOS DOS INDICADORES DE QUALIDADE.....	55
<b>TABELA 7:</b> RESULTADOS DOS INDICADORES INFRAESTRUTURASIS .....	56
<b>TABELA 8:</b> RESULTADOS DOS INDICADORES FINANCEIROS .....	57
<b>TABELA 9:</b> MÉDIAS ESTADUAL, REGIONAL E NACIONAL PARA OS INDICADORES .....	58
<b>TABELA 10:</b> INDICADORES NORMALIZADOS .....	61
<b>TABELA 11:</b> AUTOVETORES PARA A MATRIZ DE CADA ESPECIALISTA .....	66
<b>TABELA 12:</b> AUTOVALORES PARA A MATRIZ DE CADA ESPECIALISTA .....	67
<b>TABELA 13:</b> RAZÃO DE CONSISTÊNCIA PARA CADA ESPECIALISTA .....	67
<b>TABELA 14:</b> COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO FINAIS.....	68
<b>TABELA 15:</b> PESOS POR CATEGORIA .....	69
<b>TABELA 16:</b> RESULTADO DO ÍNDICE E CLASSIFICAÇÃO NOMINAL (CONTINUA).....	69

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1:</b> BOAS PRÁTICAS NO PROCESSO DE ESCOLHA DE INDICADORES .....	26
<b>QUADRO 2:</b> ENTIDADES NACIONAIS E INTERNACIONAIS QUE PROPÕEM INDICADORES PARA O SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	27
<b>QUADRO 3:</b> TABELA DE PADRÃO MICROBIOLÓGICO DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IWA	<i>International Water Association</i>
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Sistema de Abastecimento Coletivo
SAI	Sistema de Abastecimento Individual
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância

## LISTA DE EQUAÇÕES

- (1) Equação do indicador de hidrometração
- (2) Equação do indicador de macromedição
- (3) Equação do indicador de perdas na distribuição
- (4) Equação do indicador de consumo médio per capita de água
- (5) Equação do indicador de consumo de energia elétrica
- (6) Equação do indicador de incidência das análises de cloro residual fora do padrão
- (7) Equação do indicador de incidência das análises de turbidez fora do padrão
- (8) Equação do indicador de incidência das análises de coliformes totais fora do padrão
- (9) Equação do indicador de extensão da rede de água por ligação
- (10) Equação do indicador de atendimento urbano de água
- (11) Equação do indicador de tarifa média de água
- (12) Equação do indicador de produtividade – empregados próprios por 1000 ligações de água
- (13) Normalização de 0 a 1
- (14) Normalização de 0 a 100
- (15) Matriz de comparação paritária
- (16) Autovalor associado
- (17) Razão de consistência da matriz de decisão
- (18) Amplitude interquartil
- (19) Limite superior nos quartis
- (20) Limite inferior nos quartis
- (21) Desempenho do indicador
- (22) Índice de desempenho do serviço de abastecimento de água

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
3.1	O SANEAMENTO BÁSICO E SEUS ASPECTOS LEGAIS .....	17
3.1.1	<i>Definição .....</i>	<i>17</i>
3.2	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	19
3.2.1	<i>Condições Gerais .....</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Componentes do Sistema de Abastecimento de Água .....</i>	<i>20</i>
3.2.3	<i>Desempenho de Sistemas de Abastecimento de Água .....</i>	<i>21</i>
3.2.4	<i>Sistemas de Abastecimento Alternativos.....</i>	<i>24</i>
3.3	INDICADORES E ÍNDICES .....	25
3.3.1	<i>Conceito e Características dos Indicadores de Desempenho .....</i>	<i>25</i>
3.3.2	<i>Tipos de Indicadores para o serviço de abastecimento de água.....</i>	<i>28</i>
3.3.3	<i>Etapas do Desenvolvimento de um Índice .....</i>	<i>28</i>
3.3.4	<i>Estudos já realizados sobre o tema.....</i>	<i>29</i>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	31
4.1.1	<i>Agreste Paraibano .....</i>	<i>31</i>
4.2	COLETA DE DADOS .....	32
4.2.1	<i>Banco de dados .....</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Seleção dos indicadores.....</i>	<i>33</i>
4.3	DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	41
4.3.1	<i>Primeira Etapa - Normalização dos Indicadores .....</i>	<i>42</i>
4.3.2	<i>Segunda Etapa - Ponderação dos Indicadores .....</i>	<i>46</i>
4.3.3	<i>Terceira etapa - Agregação dos Indicadores .....</i>	<i>51</i>
4.3.4	<i>Quarta etapa - Classificação do Índice .....</i>	<i>51</i>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
5.1	RESULTADOS REFERENTES AOS INDICADORES.....	52
5.1.1	<i>Indicadores operacionais.....</i>	<i>52</i>
5.1.2	<i>Indicadores de qualidade .....</i>	<i>54</i>
5.1.3	<i>Indicadores infraestruturais.....</i>	<i>55</i>
5.1.4	<i>Indicadores econômico-financeiros .....</i>	<i>57</i>
5.2	RESULTADOS DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	58
5.2.1	<i>Normalização dos indicadores.....</i>	<i>58</i>
5.2.2	<i>Ponderação.....</i>	<i>66</i>
5.2.3	<i>Agregação e classificação nominal.....</i>	<i>69</i>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>80</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a conservação dos ecossistemas e da vida dos seres humanos no planeta. Entretanto, de acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), publicado em 2019, cerca de três em cada dez pessoas não têm acesso a água.

A problemática é intensificada com o crescimento demográfico e desenvolvimento econômico, que juntos trazem como consequência o aumento da demanda pelos recursos hídricos, e ainda ocasionam a deterioração de sua qualidade através da poluição de mananciais. Nesse sentido, especialistas apontam que os principais problemas da escassez da água decorrem majoritariamente do mau gerenciamento dos recursos hídricos, sendo necessária a adoção de novos direitos, deveres e ações relativas à utilização desse recurso finito. Esse cenário, com o passar dos anos, tornou a discussão do manejo adequado de água por parte do poder público um dos temas centrais do planejamento urbano, seja no âmbito nacional ou internacional.

Na literatura é encontrado respaldo para novas tratativas de recursos hídricos como forma de diagnóstico e busca por soluções para a temática suscitada. Sobrinho e Borja (2016) destacam que os problemas de operação dos sistemas urbanos de abastecimento de água são enfrentados pelos diversos prestadores deste serviço no Brasil. Dentre os problemas mais comuns citados destacam-se o elevado índice de perdas, e a baixa eficiência energética.

Já em tratativas de solução, o uso de índices de desempenho para avaliação dos sistemas de abastecimento de água é uma das ferramentas que têm auxiliado na mitigação dos problemas. A quantificação de índices é primordial para o refinamento da gestão e pode alavancar sobremaneira os processos de tomada de decisão, uma vez que permitem a identificação de problemas e a consequente promoção das medidas corretivas, além de apoiarem a formulação de ações, políticas e estratégias mais eficientes (BEZERRA, PERTEL E MACÊDO, 2019).

Nesse contexto, com o objetivo de avaliar o serviço de abastecimento de água de doze municípios de pequeno porte do Agreste Paraibano, busca-se desenvolver um Índice de Água, uma medida quantitativa do nível do serviço que está sendo prestado, como forma de auxiliar a gestão do sistema, visto que o Agreste Paraibano

é uma mesorregião do estado da Paraíba que apresenta cenário crítico, com irregularidade do regime de chuvas e grandes períodos de estiagem.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um índice para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água para zona urbana de municípios de pequeno porte do agreste paraibano.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar indicadores operacionais, de qualidade, infraestruturais e financeiros que representem o serviço de abastecimento de água de 12 municípios do agreste paraibano.
- Avaliar e classificar a qualidade do serviço de abastecimento de água oferecido a estes municípios a partir do índice obtido.
- Realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos para os 12 municípios.
- Identificar deficiências nos sistemas de abastecimento dos municípios e possíveis impactos à população por eles atendida, através da análise crítica dos índices obtidos, de maneira a auxiliar o gerenciamento e direcionamento de investimentos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O SANEAMENTO BÁSICO E SEUS ASPECTOS LEGAIS

##### 3.1.1 Definição

A Lei Nº 11.445/2007, atualizada pela Lei Nº 14.026/2020, que estabeleceu o “novo marco legal do saneamento”, conceitua, em seu artigo 3º (conforme alteração traduzida pelo artigo 7º da nova lei), o saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana;
- d) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenada, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

Quanto ao exercício da titularidade dos serviços de saneamento básico, tratando-se de interesse local são titulares os Municípios e o Distrito Federal. Estado e municípios que compartilham instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, instituídas por lei complementar estadual, exercerão a titularidade conjunta no caso de interesse comum. O exercício da titularidade poderá ser realizado também por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação, segundo a interpretação do artigo 8º, I e II e § 1º da Lei nº 11.445/07, conforme alteração traduzida pelo artigo 7º da lei 14.026/2020 (TCESP, 2021).

Por sua vez, o artigo 6º da Constituição afirma que a saúde é um direito social, igualmente, o diploma legal determina, em seu art.196, que tal direito deve ser garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de

doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação (BRASIL, 1988). Em outra ótica, segundo dados da OMS, a falta de infraestrutura de saneamento ambiental nas cidades é uma das principais causas de morbidades no Brasil. Diversos estudos têm confirmado esta interface da saúde e ambiente, com especial destaque para o impacto positivo do saneamento nos indicadores de saúde pública (MARTINS, 1995; HELLER, 1997; PHILIPPI Jr e MALHEIROS, 2005, *apud* SCHNEIDER, 2010). Assim, o saneamento básico é condição essencial para assegurar a saúde e a dignidade humana.

A Lei Nº 11.445/2007, em seu art. 2º, também atualizado pelo artigo 7º da lei 14.026/2020, estabelece como princípios fundamentais da prestação de serviços de saneamento a integralidade e a universalização. A integralidade é compreendida como o conjunto de atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico que propicie à população o acesso a eles em conformidade com suas necessidades e maximize a eficácia das ações e dos resultados. A universalização é conceituada como a ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico (BRASIL, 2020).

Em 28 de julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas, por meio da Resolução A/RES/64/292 reconheceu que a água limpa e o saneamento são componentes integrais da realização de todos os direitos humanos. Tendo isso em vista, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu a Agenda 2030, que é um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade, e contém os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em que o sexto é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos.

Entretanto, de acordo com o relatório da OMS e do UNICEF, publicado em 2019, cerca de três em cada dez pessoas - em um total de 2,1 bilhões - não têm acesso a água potável em casa, e seis em cada dez - ou seja, 4,5 bilhões de pessoas - carecem de saneamento seguro.

No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018), de um total de 208,5 milhões de habitantes, 83,6% têm acesso à água encanada, 53,2% são atendidos com rede de esgoto, os quais apenas 46,3% são tratados, 92,1% têm cobertura de coleta domiciliar de resíduos sólidos e 82,4% possuem algum tipo de sistema de drenagem urbana. Tal cenário evidencia a

necessidade de um maior atendimento desses serviços, bem como a melhoria dos serviços já existentes, visando atingir as metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) para a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico em todo território nacional.

## 3.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

### 3.2.1 *Condições Gerais*

O Decreto Nº 5.440/2005 adota a definição de sistema de abastecimento de água para consumo humano como a instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão (BRASIL, 2005). Este é, portanto, um dos instrumentos normativos que expandem o conceito e efetividade da prestação ao direito fundamental de acesso à água potável.

Água potável por sua vez, segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, é aquela que atende ao padrão de potabilidade estabelecido em seu anexo e que não ofereça riscos à saúde, segundo os padrões microbiológicos, físicos, químicos e radioativos. Ainda segundo a portaria, o controle dessa qualidade, desde os pontos de saída de tratamento até os sistemas de distribuição, é realizado pela empresa responsável pelo município e monitorada pelas Secretarias de Saúde Estaduais, através de um conjunto de valores máximos permissíveis das características de qualidade da água, estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), que publicou o Thesaurus de Recursos Hídricos do Órgão Gestor Nacional, segurança hídrica é a condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente. Tendo isso em vista, foi desenvolvido o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), com apoio de Estados brasileiros. O PNSH tem como objetivos: “Definir diretrizes, conceitos e critérios que permitam a seleção e detalhamento das principais intervenções estratégicas do país (horizonte 2035) para: Garantir oferta de

água para o abastecimento humano e para o uso em atividades produtivas; reduzir os riscos associados a eventos críticos (secas e inundações)”.

### 3.2.2 Componentes do Sistema de Abastecimento de Água

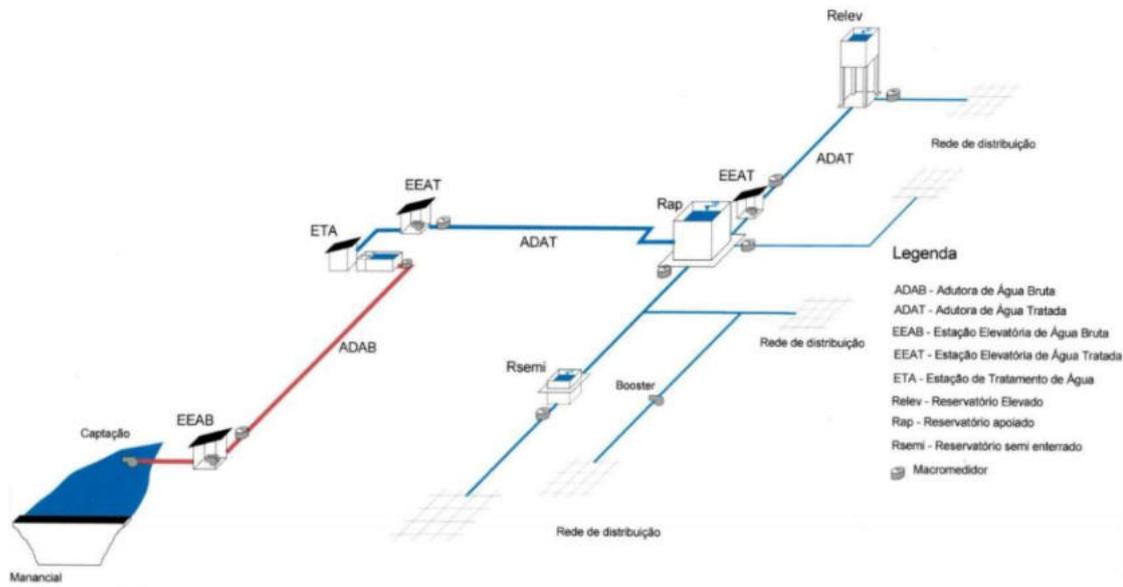
De modo geral, as unidades que compõem um sistema de abastecimento de água (SAA) são o manancial, a captação, as estações elevatórias, as adutoras, a estação de tratamento, os reservatórios e a rede de distribuição. Segundo Tsutiya (2006), estes componentes são definidos como:

- Manancial: é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.
- Captação: conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.
- Estação Elevatória: conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Em sistemas de abastecimento de água, geralmente há várias estações elevatórias, tanto para o recalque de água bruta, como para o recalque de água tratada. Também é comum a estação elevatória, tipo “booster”, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água.
- Adutora: canalização que se destina conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir as derivações que são as sub-adutoras.
- Estação de Tratamento de Água: conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.
- Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- Rede de Distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em qualidade e pressão recomendada.

Considerando os diferentes tipos de soluções técnicas de abastecimento de água, diversos arranjos de instalações podem ser propostos, principalmente, por haver especificidades locais que demandam distintas soluções (HELLER e PÁDUA, 2010). A Figura 1 representa um deles.

Destaca-se, ainda, que para se obter um bom serviço de abastecimento de água, com um desempenho eficiente e eficaz do sistema, todos os seus componentes necessitam de atenção, visto que operam em interdependência.

**Figura 1:** Unidades constituintes dos sistemas de abastecimento de água



Fonte: MENESES (2011).

### 3.2.3 Desempenho de Sistemas de Abastecimento de Água

A avaliação de desempenho permite medir as metas e os objetivos da prestação de serviços e se apresenta como a melhor alternativa para o acompanhamento dos serviços prestados, permitindo antever problemas e agilizar a tomada de decisão, seja para medidas estruturais ou estruturantes (GANJIDOOST et al., 2018).

O desempenho de sistemas de abastecimento de água está relacionado à sua capacidade de entregar água em quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano (qualidade do produto); à eficiência na prestação desse serviço (eficiência operacional) e à autossustentação desses sistemas via gestão estratégica, isto é, à sua capacidade de se manter eficiente ao longo dos anos, considerando-se a crescente poluição do manancial utilizado, e considerando-se, também, as crescentes demandas pelo uso de água e urbanização (OLIVEIRA, 2006).

Na análise de desempenho com relação à qualidade do produto, são considerados aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água, bem como quanto a população atendida e quantidade de água oferecida. Os parâmetros de qualidade da água são um indicador que avalia não somente as condições da água consumida, como, também, o desempenho geral do sistema de abastecimento. Adicionalmente,

esse indicador incorpora a avaliação da satisfação do serviço pelo consumidor, tornando seu uso indispensável (BARTRAM et al., 2009). Tais parâmetros são apresentados no anexo da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Sendo eles: turbidez, cloro residual livre, cloraminas, dióxido de cloro, pH e fluoreto, gosto e odor, cianotoxinas, produtos secundários da desinfecção e outros.

Além da qualidade da água, é de suma importância que seja cumprido o plano de amostragem, com o objetivo de que as análises de qualidade da água representem sua potabilidade em todo o sistema de abastecimento do município. O operador deve incluir, no seu plano de amostragem, um ponto no local de captação da água bruta, na saída do tratamento, e pontos vulneráveis na rede de distribuição. O número de amostras varia de acordo com o parâmetro, tipo de captação e população do município e é estabelecido também na Portaria GM/MS N° 888/2021.

Segundo Carrijo (2004), o principal objetivo de um sistema de distribuição de água é suprir os usuários água em quantidade suficiente às suas necessidades, com pressões adequadas sob diversas condições de solicitação. Portanto, o desempenho operacional dos sistemas de abastecimento de água está relacionado às suas condições de funcionamento, perdas no processo, consumo energético e manutenção e qualidade do serviço. Este pode ser avaliado nos diversos componentes do sistema de abastecimento de água.

Na captação, nas estações elevatórias e na estação de tratamento, o consumo energético é um fator importante a ser avaliado, principalmente no que se refere às bombas. Na estação de tratamento, o desempenho pode ser avaliado por outros fatores, como a carreira de filtração, a eficiência de floculação, dentre outros. Muito embora, o desempenho relativo a esses fatores se reflete na qualidade da água distribuída, principalmente no que se refere a turbidez e cor (VERAS e BERNARDO, 2008).

Além da eficiência energética, a pressão na rede de distribuição é um parâmetro que avalia a eficiência na operação do serviço. Esta está ligada às perdas no sistema, havendo, portanto, uma relação intrínseca entre a variação da pressão no sistema de distribuição e as taxas de vazamento. Em consequência, esses parâmetros influenciam diretamente no volume de água distribuído à população, assim como na continuidade do serviço (LAMBERT e HIRNET, 2000).

De acordo com Francato (2002), o problema da operação dos sistemas urbanos de abastecimento de água ocorre em muitas cidades do Brasil. Dentre os problemas mais comuns, destacam-se: o elevado índice de perdas físicas de água, volumes inadequados dos reservatórios que dificultam a manutenção de uma adução constante na ETA, gastos elevados com energia elétrica, constantes necessidades de manobras emergenciais, cadastros técnicos desatualizados, entre outros.

Finalmente, a gestão estratégica está relacionada à busca pela sustentabilidade ambiental, social e financeira dos sistemas de abastecimento de água.

Segundo Heller e Pádua (2010), alguns dos impactos causados em instalações de abastecimento de água são:

- Em obras de captação superficial, quando há alterações no seu leito natural, estas podem provocar erosões nas margens e assoreamento dos leitos;
- Em obras de captação com construção de barragem de acumulação, onde os impactos ambientais do represamento podem ser significativos, tanto sobre a qualidade da água, quanto sobre o ambiente local, inclusive com disseminação de doenças;
- Na operação das estações de tratamento de água, nas quais são gerados muitos resíduos, como água de lavagem dos filtros e de descarga de decantadores e floculadores, que necessitam ser tratados convenientemente antes de seu lançamento;
- Em obras civis e de instalação de tubulações, sobretudo grandes adutoras, que podem gerar impactos, por exemplo: durante movimentos de terra, rebaixamento de lençol de água e ocupação de terrenos.

Destandau e Garcia (2014) afirmam que o objetivo básico das prestadoras tem sido reduzir custos e economizar água, sem causar impacto efetivo na qualidade do serviço. Além disso, para a regulação, é de suma importância uma melhor compreensão entre os custos e a qualidade do serviço de abastecimento de água, quando comparado o desempenho de diferentes operadores.

No Brasil, segundo o Ministério das Cidades (2016), os maiores custos de exploração das prestadoras de serviços de abastecimento de água estão relacionados aos gastos com pessoal próprio e com energia elétrica, compreendendo 62,5% de todos os custos das prestadoras no ano de 2014.

### 3.2.4 Sistemas de Abastecimento Alternativos

A Portaria GM/MS N° 888/2021 define em seu Anexo, Capítulo II, no Art. 5º, Incisos VI e VII:

VII - Solução Alternativa Coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC): modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição;

VIII - Solução Alternativa Individual de abastecimento de água para consumo humano (SAI): modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares.

As soluções alternativas podem ser aplicadas a situações transitórias ou emergenciais, porém não devem ser compreendidas como soluções improvisadas, pois, assim como os sistemas de abastecimento de água, devem fornecer água potável e em quantidade suficiente. O monitoramento da água oriunda dessas soluções de abastecimento é um aspecto que deve ser observado, fomentando assim a necessidade de instruir as populações que utilizam dessa modalidade de abastecimento de água (HELLER e PÁDUA, 2010).

Nos Sistemas de Abastecimento Alternativos, os mananciais frequentemente utilizados são os poços, as nascentes ou minas, e a captação de água de chuva, sendo as águas superficiais utilizadas em menor proporção. No primeiro tipo, a forma de construção do poço é fundamental para garantir a qualidade da água captada e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero (ANA, 2007). A qualidade da água da chuva captada para consumo humano é visivelmente superior às de outras fontes disponíveis, no que se refere à turbidez, cor e sabor, parâmetros passíveis de criar objeção imediata da água por parte dos consumidores (CARDOSO et al., 2005).

A Portaria GM/MS N°888/2021 determina em seu Anexo, Capítulo I, nos Artigos 3º e 4º o controle e vigilância da qualidade da água apenas de sistemas e soluções alternativas coletivas de abastecimento de água, enquanto as soluções alternativas individuais estão sujeitas somente à vigilância da qualidade da água.

O uso de cisternas de placas para reservação de água de chuva é a forma de armazenamento que mais se destaca no Brasil, pois possui elevada capacidade de acumular água de boa qualidade em regiões com baixo índice pluviométrico. Esta é

instalada na área externa do domicílio evitando deslocamento dos moradores para obtenção de água, possuindo baixo custo de implantação e demanda mão-de-obra local (PÁDUA, *et al.*, 2013).

Dados do Sistema de Informação sobre Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) mostram que, em 2015, dos 67,9% dos municípios brasileiros que informaram realizar o cadastro total ou parcial com relação às formas de abastecimento, 47,1% correspondiam a SAI, 40,6%, a SAC, e 12,3%, a SAA, abastecendo, respectivamente, 0,73, 3,5 e 71,2% da população (BRASIL, 2016). No estado da Paraíba, em 2012, mais de 90% da população era abastecida por SAA e o restante utiliza soluções alternativas como forma de abastecimento (BRASIL, 2012).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2012) apresentou dados com relação ao cenário do saneamento no meio rural, demonstram que ainda são intensas as desigualdades no acesso aos serviços de abastecimento de água entre os habitantes das áreas urbanas e rurais. No Brasil, apenas 33,2% dos domicílios rurais estão ligados à rede de distribuição de água com ou sem canalização interna, e nos outros 66,8% a população capta água de chafarizes e poços protegidos ou não, diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento, ou de outras fontes alternativas geralmente inadequadas para consumo humano. Apesar desse quadro, que requer extensa avaliação e análise, a eficiência dos serviços relacionados aos sistemas alternativos de água são ainda pouco exploradas.

### 3.3 INDICADORES E ÍNDICES

#### 3.3.1 *Conceito e Características dos Indicadores de Desempenho*

De acordo com ALEGRE, *et al.* (2004), para atingir seus objetivos de gestão, as entidades gestoras devem procurar elevados padrões de eficiência e de eficácia. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos da gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos.

Ainda segundo o mesmo autor, um indicador de desempenho (ID) é uma medida quantitativa de um aspecto particular do desempenho da entidade gestora ou do seu nível de serviço. É um instrumento de apoio à monitorização da eficiência e da

eficácia da entidade gestora, simplificando uma avaliação que de outro modo seria mais complexa e subjetiva.

Destacam-se os principais atributos dos indicadores de desempenho (SILVA e SOBRINHO, 2006, *apud*, VON SPERLING, 2010):

- Avaliar objetivamente e sistematicamente a prestação de serviços;
- Subsidiar estratégias para estimular a expansão e a modernização da infraestrutura, de modo a buscar a sua universalização e a melhoria dos padrões de qualidade;
- Diminuir a assimetria de informações e incrementar a transparência das ações do prestador de serviços públicos e da agência reguladora;
- Subsidiar o acompanhamento e a verificação do cumprimento dos contratos de concessão ou contratos de programa;
- Aumentar a eficiência e a eficácia da atividade de regulação.

É de extrema importância a criação de indicadores com base em sistemas de informações apropriados a cada instância de atuação e decisão. Assim sendo, a escolha dos indicadores de interface com os serviços de água poderá se orientar pelos dez princípios propostos por Galvão Júnior (2006), descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Boas práticas no processo de escolha de indicadores

O indicador deve ser		
1.	Claro, compreensível, interessante	Evitar incertezas com relação ao que é bom ou ruim, fácil de entender, com unidades que tenham sentido, e sugestivos para efetiva ação.
2.	Relevante	Politicamente relevantes para todos os participantes do sistema
3.	Viável	Custo adequado de aquisição e processamento de dados e comunicação
4.	Suficiente	Fornecer a medida certa da informação
5.	Oportuno	Oportuno temporalmente, integrado com o planejamento
6.	Apropriado na escala	Apropriado aos diferentes usuários potenciais
7.	Democrático	Diversidade e ampla participação na escolha e acesso aos resultados. Os indicadores não devem ser determinados apenas por um pequeno grupo de especialistas, mas devem envolver lideranças políticas e pessoas da comunidade. Especialistas são importantes na definição de metodologias e cálculos, porém, deve-se balancear o que é tecnicamente possível com o que é politicamente desejável.
8.	Medida Física	Balancear, na medida do possível, unidades físicas e monetárias
9.	Preventivo e proativo	Deve conduzir para a mudança, fornecendo informação em tempo de poder agir
10.	Não deve pretender ser uma ferramenta estanque	Deve estar inserido num processo de melhoria contínua, passível de discussão, de aprendizado e de mudança

Fonte: Galvão Júnior (2006).

Dessa forma, o uso de indicadores com o objetivo de avaliar o desempenho de sistemas de abastecimento de água se constitui um instrumento com potencialidades inquestionáveis, trazendo informações infraestruturais, operacionais, de qualidade de serviço, econômico-financeiras, entre outras que auxiliam os gestores na tomada de decisões.

Com este objetivo, várias entidades no âmbito nacional e internacional apresentam indicadores, tanto na esfera do saneamento quanto com outros focos. No Quadro 2 são apresentadas algumas dessas organizações que propõem indicadores relacionados ao serviço de abastecimento de água, e que serão úteis para esta pesquisa.

**Quadro 2:** Entidades nacionais e internacionais que propõem indicadores para o serviço de abastecimento de água

Entidade	Descrição
<b>Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)</b>	Com abrangência nacional, reúne informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico em áreas urbanas das quatro componentes do saneamento básico (SNIS, 2019).
<b>Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)</b>	Entidade de direito privado, criada sob forma de associação civil, sem fins lucrativos e de natureza não partidária. Seu objetivo é promover a mútua colaboração entre as associadas e os poderes públicos, na busca do aprimoramento da regulação e da capacidade técnica, contribuindo para o avanço e consolidação da atividade regulatória em todo Brasil (ABAR, s.d.).
<b><i>International Water Association (IWA)</i></b>	Plataforma aberta de âmbito internacional, sem fins lucrativos, que é referência para o setor de água e desenvolve pesquisas e projetos voltados para soluções de gestão de água e efluentes.
<b>Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR)</b>	Com sede em Lisboa, é uma entidade administrativa independente, com funções de regulação e supervisão dos serviços de águas e resíduos.

Fonte: A autora (2021).

### 3.3.2 Tipos de Indicadores para o serviço de abastecimento de água

O SNIS disponibiliza atualmente 73 indicadores para o serviço de abastecimento de água. Estes são subdivididos e classificados de acordo com as seguintes categorias:

- Indicadores econômico-financeiros e administrativos (31);
- Indicadores operacionais (22);
- Indicadores de balanço (9);
- Indicadores de qualidade (11);

No conjunto, os indicadores de desempenho selecionados traduzem, de modo sintético, os aspectos mais relevantes do desempenho do operador. Cada indicador, ao contribuir para a quantificação do desempenho sob um dado ponto de vista, numa dada área e durante um dado período, facilita a avaliação do cumprimento de objetivos e a análise da evolução ao longo do tempo. Desta forma, simplifica-se uma análise que por natureza é complexa (ALEGRE, *et al.*, 2004).

### 3.3.3 Etapas do Desenvolvimento de um Índice

Em uma análise superficial, índice e indicador possuem o mesmo significado. A diferença está em que um índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis (SICHE *et al.*, 2007).

Para o desenvolvimento de um índice são necessárias duas etapas anteriores. A primeira etapa é a coleta de informações nos bancos de dados disponíveis para o desenvolvimento da pesquisa. Depois de extraído o fundamental, dá-se início a segunda etapa, na qual os indicadores são calculados para a posterior agregação dos mesmos na construção do índice.

**Figura 2:** Relação entre dados primários, dados agregados, indicadores e índices



Fonte: Adaptado de Shields *et al.* (2002).

Através da Figura 2, observa-se que o topo da pirâmide corresponde ao grau máximo de agregação de dados, possibilitando assim mais rapidez na tomada de decisão, enquanto a base representa os dados primários desagregados, o que permite um conhecimento mais profundo do que está sendo analisado.

#### 3.3.4 Estudos já realizados sobre o tema

Algumas pesquisas envolvendo indicadores já foram realizadas em âmbito nacional, com o objetivo de elencar quais os mais eficazes para a gestão dos serviços de saneamento. Von Sperling (2010) desenvolveu um estudo comparativo da utilização de indicadores de desempenho em sistemas de esgotamento sanitário por diversas entidades e organizações envolvidas com o saneamento, com a finalidade de se propor um conjunto único.

Englobando também o serviço de abastecimento de água, Miranda e Teixeira (2004) levantaram indicadores a serem utilizados como instrumentos de monitoramento, permitindo assim orientar políticas públicas para os setores de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

No âmbito do estado da Paraíba, alguns estudos foram elaborados buscando desenvolver índices que agregassem um conjunto de indicadores para avaliar o desempenho de serviços saneamento. Medeiros (2017) propôs o desenvolvimento de um índice de desempenho do serviço de abastecimento de água na cidade de

Campina Grande/Paraíba. Foram estudados 22 indicadores divididos em cinco categorias: operacional, econômico-financeira, qualidade, infraestrutura e recursos humanos.

Semelhantemente a Medeiros, Dari (2015) explorou o uso de indicadores de desempenho com o intuito de avaliar o serviço de abastecimento de água na cidade de Campina Grande/Paraíba a partir do desenvolvimento de um índice de qualidade. Para atingir este objetivo, foram selecionados 11 indicadores de caráter operacional e de qualidade.

Lopes (2015) determinou um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário para a cidade de Campina Grande. Para isso foram selecionados nove indicadores relacionados à qualidade, cobertura, operação e manutenção dos serviços de esgotamento.

Percebe-se que nenhum dos trabalhos citados anteriormente realizaram uma análise específica que desenvolva um índice apropriado para municípios de pequeno porte, e que compare os resultados dos mesmos indicadores com vários municípios. Com isso em vista, esse estudo faz-se necessário, uma vez que um grupo de indicadores adequados para certo sistema de abastecimento pode não ser para outro. Deve-se, portanto, atentar para os diferentes cenários e realidades, bem como para as limitações específicas de cada porte.

## **4 METODOLOGIA**

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um índice para classificação do desempenho do sistema de abastecimento de água de doze municípios de pequeno porte no Agreste Paraibano. Com este objetivo, serão selecionados indicadores para que apontem o cenário da zona urbana dos municípios com relação ao abastecimento de água. Para tanto, serão tomados como referência os indicadores comumente utilizados em outros trabalhos na mesma linha de pesquisa que representam a realidade de serviço prestado, e que são propostos por instituições conceituadas atuantes na referida discussão.

## 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1.1 *Agreste Paraibano*

O Agreste paraibano é uma das mesorregiões do estado da Paraíba, estando localizada entre as mesorregiões Borborema e Mata Paraibana. Abrange uma área de 12.914 km<sup>2</sup>, sendo constituída por 66 municípios (dos quais 97% são de pequeno porte) distribuídos em 8 microrregiões, sendo estas: Curimataú Ocidental, Curimataú Oriental, Esperança, Brejo Paraibano, Guarabira, Campina Grande, Itabaiana e Umbuzeiro.

Esta mesorregião possui como principais características os solos profundos (latossolos e argissolos), com relevo variável, associados a solos rasos (litossolos), além de vegetação variável com predominância de vegetação caducifólia.

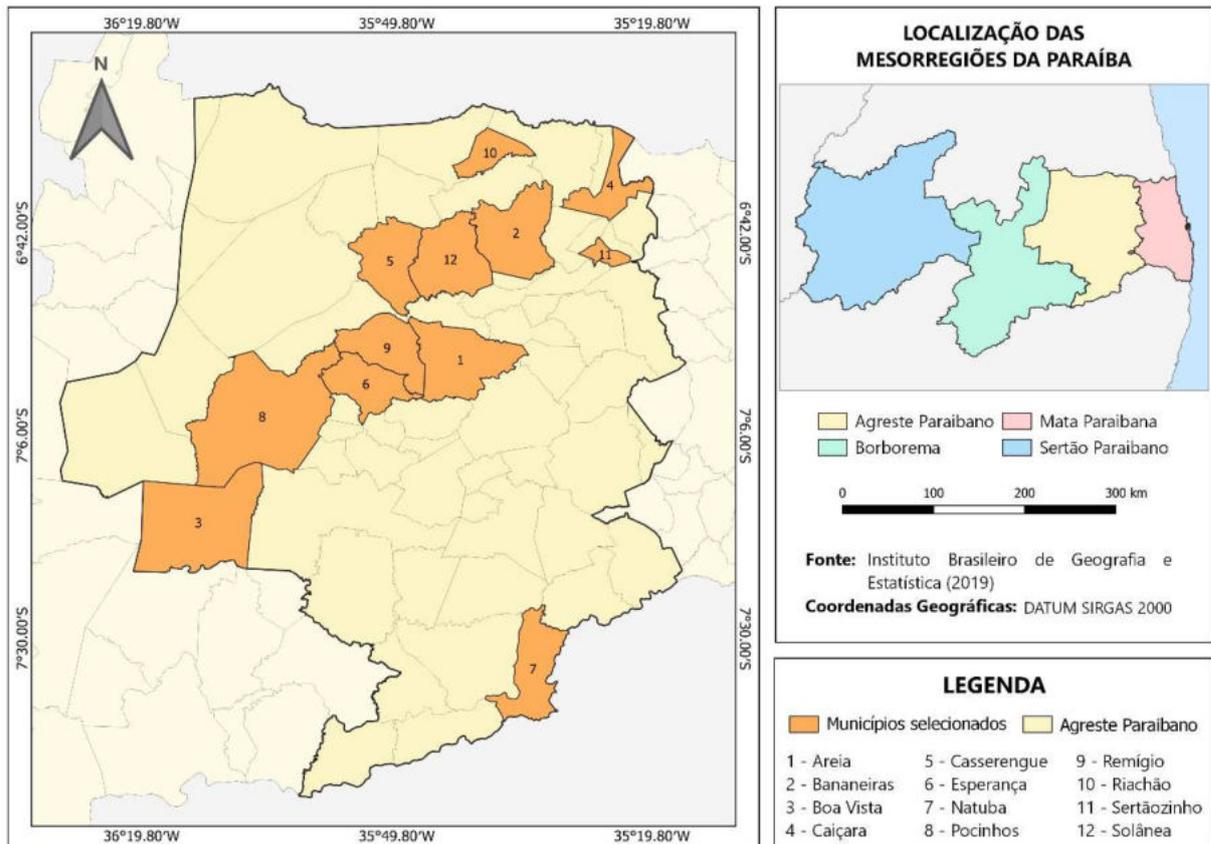
O clima predominante é o semiárido, sendo uma área sujeita a secas, com pluviometria baixa e irregular ao longo do ano. De acordo com dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Brasil (CPRM), a precipitação média anual varia de 400 mm a 1.700 mm. Além disso, estudos realizados baseados em relatórios técnicos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) apontam para o aumento da frequência e da intensidade das secas, o que resultará em redução da disponibilidade hídrica (MARENGO, 2007).

Nesse contexto, o Agreste Paraibano é a mesorregião que apresenta os cenários mais críticos quando se trata do sistema de abastecimento de água dos municípios paraibanos. Os rios, nesta zona, são quase sempre temporários, reduzindo suas correntes de águas ou secando completamente nos períodos de grande estiagem. Um fator marcante que determina esta condição é a irregularidade do regime de chuvas, tornando o clima mais seco (FERREIRA, 2020).

Esta pesquisa tem como unidade básica de análise e processamento de informações o limite condizente aos municípios. As municipalidades selecionadas na presente pesquisa correspondem às de pequeno porte (com até 34.000 habitantes) do Agreste Paraibano, que estão sendo trabalhadas no Termo de Execução Descentralizada (TED) 03/2019 firmado entre a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para a elaboração dos Planos de Saneamento Básico de 50 municípios do estado da Paraíba.

Os municípios selecionados foram todos os do Agreste que estão sendo trabalhados no TED, sendo eles: Areia, Bananeiras, Boa Vista, Caiçara, Casserengue, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio, Riachão, Sertãozinho e Solânea, representados na Figura 3.

**Figura 3:** Localização geográfica dos municípios e divisão mesorregional



Fonte: A autora (2021).

## 4.2 COLETA DE DADOS

### 4.2.1 Banco de dados

Gerenciado pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS/MDR), o SNIS é o maior e mais importante ambiente de informações do setor de saneamento básico brasileiro.

O SNIS apoia-se em um banco de dados administrado na esfera federal, que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, sobre a prestação de serviços de água e de esgotos, e sobre os serviços de manejo de resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2005). No caso dos

serviços de água e de esgotos, os dados são atualizados anualmente para uma amostra de prestadores de serviço do Brasil desde o ano-base de 1995.

Dentre os objetivos do SNIS destacam-se:

- Planejamento e execução de políticas públicas;
- Orientação da aplicação de recursos;
- Conhecimento e avaliação do setor saneamento;
- Avaliação de desempenho dos serviços;
- Aperfeiçoamento da gestão;
- Orientação de atividades regulatórias e de fiscalização;
- Exercício do controle social

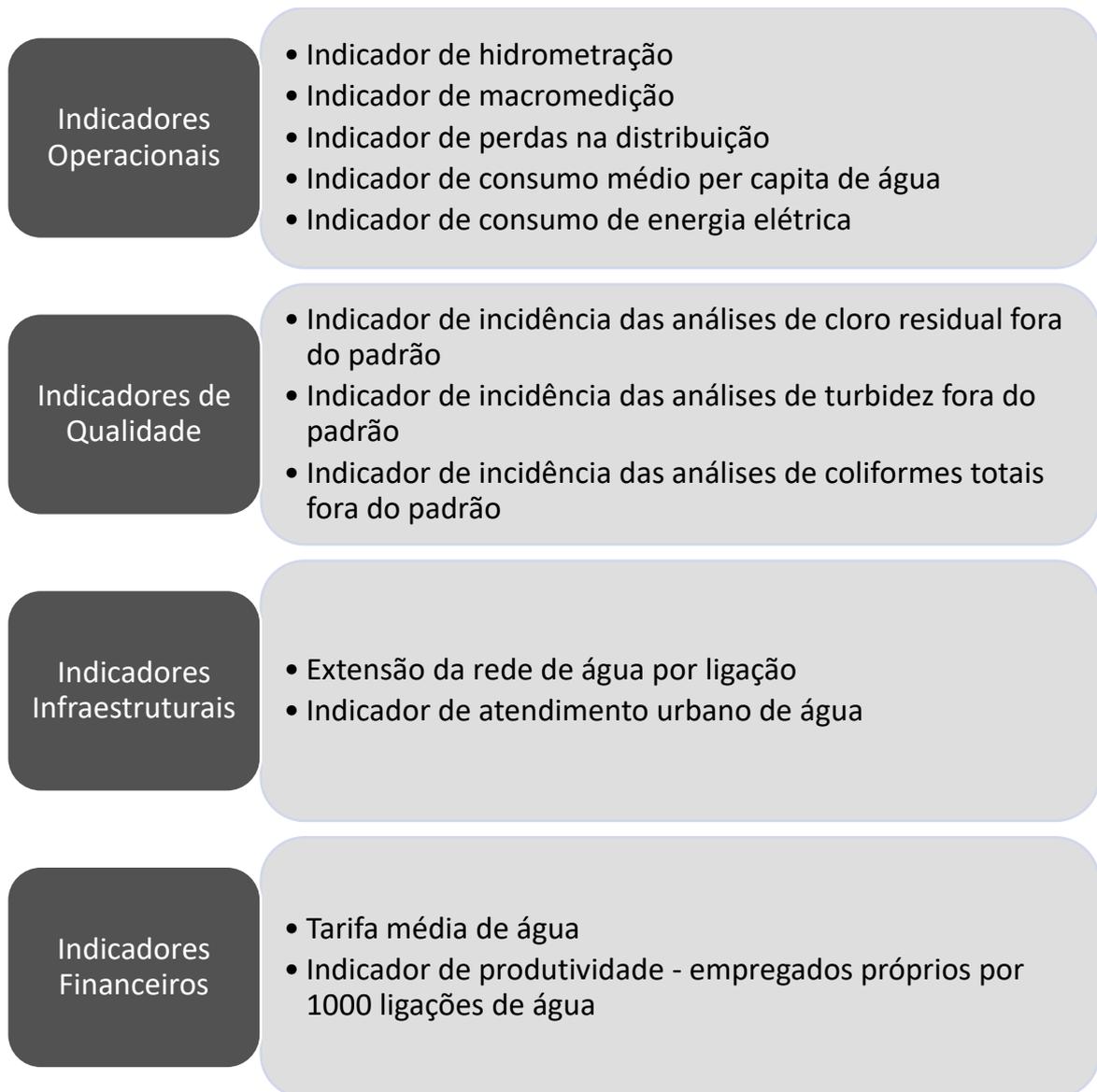
Além disso, a consolidação do SNIS permite a utilização de seus indicadores como referência para comparação e como guia para medição de desempenho da prestação de serviços.

No presente estudo, será adotada a base de dados municipal do SNIS.

#### *4.2.2 Seleção dos indicadores*

A escolha dos indicadores se fundamentou nas indicações propostas pelo SNIS e descritas na fundamentação teórica, além de pesquisas anteriores relacionadas ao tema. Igualmente, foram levados em consideração fatores como a associação dos mesmos à realidade dos municípios e a disponibilidade de informações do banco de dados utilizado. Os indicadores analisados na pesquisa foram subdivididos nas categorias dispostas na Figura 4.

**Figura 4:** Indicadores selecionados por categoria



Fonte: A autora (2021).

#### 4.2.2.1. *Indicadores Operacionais*

Os indicadores operacionais incluem dados relativos ao sistema físico, às perdas e aos consumos de água, bem como ao pessoal atuante. Tais indicadores são de extrema importância, uma vez que por meio da operação do sistema, a prestadora garante a qualidade do produto, conserva ou denigre o meio ambiente, ganha produtividade, planeja e controla a relação oferta/demanda; eleva ou não os custos e, por conseguinte, os preços; e eleva ou reduz as perdas que limitam a possibilidade de reinvestimento no negócio.

A eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água relaciona-se, desse modo, a questões como condições de funcionamento do SAA (mão de obra, tecnologia e infraestrutura disponível), controle e minimização de perdas, energia demandada pelo sistema e processos, manutenção e qualidade do serviço (OLIVEIRA, 2016).

Os indicadores operacionais em estudo são conceituados a seguir:

▪ **Indicador de Hidrometração ( $OP_1$ )**

O cálculo do indicador de hidrometração corresponde ao quociente da divisão entre a quantidade de ligações ativas de água micromedidas ( $L_{micromed}$ ) e a quantidade de ligações ativas de água ( $L$ ). Ligações ativas são aquelas que se encontravam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência da coleta de dados, enquanto ligações micromedidas são aquelas providas de hidrômetro. Em suma, este indicador avalia a fração percentual de ligações ativas de água micromedidas do total de ligações ativas (SNIS, 2019).

$$OP_1(\%) = \frac{L_{micromed}}{L} \times 100 \quad (1)$$

▪ **Indicador de Macromedição ( $OP_2$ )**

O índice de macromedição mede o volume de água anual medido por meio de macromedidores permanentes, em comparação ao volume de água disponível para consumo, compreendendo a água captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada. Este indicador auxilia na identificação de perdas no sistema.

$$OP_2(\%) = \frac{V_{macro} - V_{exp}}{V_{prod} + V_{imp} - V_{exp}} \times 100 \quad (2)$$

Sendo,

- $V_{macro}$ : Volume de água macromedido;
- $V_{exp}$ : Volume de água tratada exportado;

- $V_{prod}$ : Volume de água produzido;
- $V_{imp}$ : Volume de água tratada importado.

▪ **Indicador de perdas na distribuição ( $OP_3$ )**

O indicador de perdas na distribuição é dado pela diferença dos volumes disponível para consumo e o consumido por todos os usuários, em relação ao volume produzido. Desses fatores é reduzido o valor da soma dos volumes anuais de água usados para atividades operacionais e especiais, acrescido do volume de água recuperado (Volume de serviço). Através deste indicador podem ser identificadas falhas na operação do sistema. Sua forma de cálculo é:

$$OP_3 (\%) = \frac{V_{prod} + V_{imp} - V_{cons} - V_{serv}}{V_{prod} + V_{imp} - V_{serv}} \quad (3)$$

Sendo,

- $V_{cons}$ : Volume de água consumido;
- $V_{serv}$ : Volume de serviço;
- $V_{prod}$ : Volume de água produzido;
- $V_{imp}$ : Volume de água tratada importado.

▪ **Consumo médio per capita de água ( $OP_4$ )**

O índice de consumo médio per capita de água mede o volume de água consumido pela população em um dia, sendo importante para analisar o perfil da população atendida, e é dado por:

$$OP_4 (l/hab \cdot dia) = \frac{V_{cons} - V_{exp}}{Pop} \times \frac{1.000.000}{365} \quad (4)$$

Sendo,

- $V_{cons}$ : Volume de água consumido;
- $V_{exp}$ : Volume de água tratada exportado;
- $Pop$ : População total atendida com abastecimento de água

▪ **Indicador de consumo de energia elétrica (OP<sub>5</sub>)**

Este indicador mede o consumo total de energia elétrica nos sistemas de água, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas, em relação ao volume produzido. Dessa forma, é importante para a avaliação deste consumo.

É dado por:

$$OP_5(kWh/m^3) = \frac{Cons_{energia}}{V_{prod} + V_{imp}} \quad (5)$$

Sendo,

- $Cons_{energia}$ : Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água;
- $V_{prod}$ : Volume de água produzido;
- $V_{imp}$ : Volume de água tratada importado.

4.2.2.2. **Indicadores de Qualidade**

Os parâmetros de qualidade da água são indicadores que avaliam não somente as condições da água consumida, como, também, o desempenho geral do sistema de tratamento. Adicionalmente, esse indicador possibilita verificar se os padrões de qualidade mínima estabelecida pela normalização são atendidos em cada um dos municípios. Os indicadores utilizados para avaliar a qualidade do serviço são os seguintes:

▪ **Incidência das análises de cloro residual fora do padrão (IQ<sub>1</sub>)**

É a quantidade de amostras coletadas de cloro residual livre na água com resultados fora do padrão determinado pela Portaria N° 888/2021 do Ministério da Saúde, em relação a quantidade de amostras de cloro analisadas.

$$IQ_1(\%) = \frac{QA_{fora}}{QA} \times 100 \quad (6)$$

Sendo,

- $QA$ : Quantidade de amostras de cloro residual analisadas

- $QA_{fora}$ : Quantidade de amostras de cloro residual com resultados fora do padrão

▪ ***Incidência das análises de turbidez fora do padrão (IQ2)***

É a quantidade de amostras coletadas de turbidez com resultados fora do padrão determinado pela Portaria GM/MS N° 888/2021, em relação a quantidade de amostras de turbidez analisadas.

$$IQ_2(\%) = \frac{QA_{fora}}{QA} \times 100 \quad (7)$$

Sendo,

- $QA$ : Quantidade de amostras de turbidez analisadas
- $QA_{fora}$ : Quantidade de amostras de turbidez com resultados fora do padrão

▪ ***Incidência das análises de coliformes totais fora do padrão (IQ3)***

É a quantidade de amostras coletadas de coliformes totais com resultados fora do padrão determinado pela Portaria GM/MS N° 888/2021, em relação a quantidade de amostras de coliformes totais analisadas.

$$IQ_3(\%) = \frac{QA_{fora}}{QA} \times 100 \quad (8)$$

Sendo,

- $QA$ : Quantidade de amostras de coliformes totais analisadas
- $QA_{fora}$ : Quantidade de amostras de coliformes totais com resultados fora do padrão

4.2.2.3. ***Indicadores de Infraestrutura***

A infraestrutura de um sistema de abastecimento é um aspecto relevante para garantir a universalização do acesso à água, além de segurança de transporte,

contenção e armazenamento do produto. Os indicadores infraestruturais selecionados foram:

- **Extensão da rede de água por ligação (II1)**

É a razão entre o comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, em relação a quantidade de ligações totais de água. Este indicador mede o adensamento horizontal, ou a distância média entre ligações de água

$$II_1(m/ligações) = \frac{Ext}{Lig} \times 100 \quad (9)$$

Sendo,

- *Ext*: Extensão da rede de água
- *Lig*: Quantidade de ligações totais de água

- **Indicador de atendimento urbano de água (II2)**

É a razão entre a população total atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços e a população urbana total.

A avaliação contínua do Indicador de Atendimento Urbano de Água possibilita acompanhar o incremento do serviço prestado visando a universalização do abastecimento de água nos municípios. A adoção deste indicador, que considera apenas a população de áreas urbanas, justifica-se pela correspondência à área de atuação predominante dos prestadores de serviços públicos (ABAR, 2014).

$$II_2(\%) = \frac{Pop_{atendida}}{Pop_{urb\_total}} \quad (10)$$

Sendo,

- *Pop<sub>atendida</sub>*: População total atendida com abastecimento de água;
- *Pop<sub>urb\_total</sub>*: População urbana total do município.

#### 4.2.2.4. Indicadores Econômico-Financeiros

Os indicadores econômico-financeiros se propõem a analisar a situação econômico-financeira da prestação dos serviços nos municípios. Tais indicadores são fundamentais, uma vez que as empresas prestadoras de serviços de água e saneamento – diante da complexidade do ambiente nos quais operam – precisam controlar adequadamente seus recursos, identificar e intervir nos problemas existentes e antecipar o impacto das mudanças econômicas e sociais sobre o desempenho financeiro, a fim de manter um equilíbrio de seus recursos (SANTANA, 2005).

- **Tarifa média de Água (IF1)**

A tarifa média de água envolve informações sobre a receita operacional direta de água e os volumes faturado, bruto exportado, e tratado exportado, sendo definido através da Equação 11.

$$IF_1(R\$/m^3) = \frac{RO}{V_{fat} - V_{bexp} - V_{texp}} \times \frac{1}{1.000} \quad (11)$$

Sendo,

- $RO$ : Receita operacional direta de água;
- $V_{fat}$ : Volume de água faturado;
- $V_{bexp}$ : Volume de água bruta exportado;
- $V_{texp}$ : Volume de água tratada exportado.

- **Indicador de produtividade – empregados próprios por 1000 ligações de água (IF2)**

O índice de produtividade é a relação existente entre a quantidade de empregados e a quantidade de ligações ativas de água, dado pela Equação 12.

$$IF_2(\text{empreg}/\text{mil lig.}) = \frac{QE}{Q_{lig.a}} \times 1.000 \quad (12)$$

Sendo,

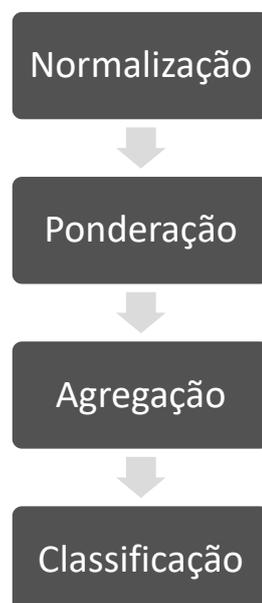
- $QE$ : Quantidade total de empregados próprios;
- $Q_{lig.a}$ : Quantidade de ligações ativas de água.

#### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Baseado no conjunto de indicadores acima elencados, foi desenvolvido um índice de desempenho que classifica o serviço de abastecimento de água prestado na zona urbana dos municípios de Areia, Bananeiras, Boa Vista, Caiçara, Casserengue, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio, Riachão, Sertãozinho e Solânea, todos no Agreste Paraibano. Com este objetivo, segundo método proposto por Juwana, Muttill e Pereira (2012), foram realizadas as etapas de normalização, ponderação, agregação e classificação, consoante ilustradas na Figura 5. Todas estas etapas foram auxiliadas pelo uso do software Excel.

Este índice é útil para classificar a zona urbana dos municípios, visto que os indicadores são fornecidos pela prestadora do serviço, neste caso a CAGEPA, e que esta atua majoritariamente na zona urbana. A zona rural em sua maioria se utiliza de abastecimento com sistemas alternativos, sejam de uso coletivo ou individual, e que não são constantemente monitorados.

**Figura 5:** Etapas para a construção de um índice de desempenho



Fonte: A autora (2021).

### 4.3.1 Primeira Etapa - Normalização dos Indicadores

Alguns dados numéricos podem ter escalas em valores diferentes, como é o caso dos indicadores que estão sendo utilizados. Uma das práticas para essas situações, conforme uma das etapas propostas por Juwana, Muttill e Perera (2012), é a normalização dos dados para posterior agregação, com a finalidade de ajustar os valores para uma escala comum, sem distorcer as diferenças nos intervalos analisados. Sendo assim, seriam minimizados os problemas oriundos do uso de unidades e dispersões distintas entre as variáveis.

Existem diferentes metodologias de normalização encontradas na literatura. Cite-se a classificação; o redimensionamento contínuo; redimensionamento categórico; porcentagem das diferenças anuais e da distância para uma referência. Dentre essas metodologias, foi utilizada a do redimensionamento contínuo.

O redimensionamento contínuo estabelece valores entre 0 e 1 ou 0 e 100. As variáveis são classificadas através de limites superior e inferior, que podem ser definidos por metas a serem alcançadas ou os valores extremos do conjunto de dados (OGATA, 2014).

Com este objetivo são utilizadas as Equações 13 (para normalização entre 0 e 1) e 14 (para normalização entre 0 e 100):

$$S_i = \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \quad (13)$$

$$S_i = \frac{X_i - X_{inf}}{X_{sup} - X_{inf}} \times 100 \quad (14)$$

Sendo,

- $S_i$ : Valor normalizado;
- $X_i$ : Valor a ser normalizado;
- $X_{inf}$ : Limite inferior;
- $X_{sup}$ : Limite superior.

Como limite superior e limite inferior foram utilizados valores da literatura apresentados por órgãos oficiais, metas propostas para serviços de abastecimento de água no Brasil, e ainda valores extremos do conjunto de dados. Estes limites são

apresentados na Tabela 1 e descritos nos tópicos seguintes, divididos por categoria. Vale enfatizar que o limite inferior indica a situação mais desfavorável para o indicador, não necessariamente representando o valor mais baixo.

**Tabela 1:** Limites superior e inferior dos indicadores em estudo

INDICADORES	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR	FONTE
<b>INDICADORES OPERACIONAIS</b>			
Indicador de hidrometração	100%	57,32%	SNIS (2019)
Indicador de macromedição	100%	0%	-
Indicador de perdas na distribuição	7,49%	70,87%	SNIS (2019)
Indicador de consumo médio per capita de água	200 l/hab.dia	50l/hab.dia	ONU (2013)
Indicador de consumo de energia elétrica	0,0 kWh/m <sup>3</sup>	2,25 kWh/m <sup>3</sup>	SNIS (2019)
<b>INDICADORES DE QUALIDADE</b>			
Incidência das análises de cloro residual fora do padrão	0%	100%	Portaria n° 888/2021 do MS
Incidência das análises de turbidez fora do padrão	0%	100%	Portaria n° 888/2021 do MS
Incidência das análises de coliformes totais fora do padrão	0%	100%	Portaria n° 888/2021 do MS
<b>INDICADORES INFRAESTRUTURAIIS</b>			
Extensão da rede de água por ligação	13,1 m/lig	3,0 m/lig	SNIS (2019)
Indicador de atendimento urbano de água	100%	60,5%	SNIS (2019)
<b>INDICADORES ECONÔMICO-FINANCEIROS</b>			
Tarifa média de água	4,58 R\$/m <sup>3</sup>	3,64 R\$/m <sup>3</sup>	SNIS (2019)
Indicador de produtividade – empregados próprios por 1000 ligações de água	10,06 empreg/mil lig.	0,05 empreg/mil lig.	SNIS (2019)

Fonte: A autora (2021).

#### ▪ Indicadores operacionais

Para normalizar os indicadores de hidrometração e macromedição, foi utilizado o limite superior de 100%, visto ser a meta das prestadoras de serviço. Como limite

inferior, foi utilizado 0% para Macromedicação, sendo esse o menor valor que esta variável pode alcançar. Para Hidrometração foi utilizado 57,32%, que é o menor valor apresentado no estado da Paraíba (desconsiderando outliers) para o ano de 2019.

Os valores utilizados como limite superior e limite inferior para o indicador de perdas na distribuição foram de 7,49% (preferível) e 70,87%, respectivamente, correspondendo ao mínimo e máximo alcançados por esta variável no conjunto de dados da Paraíba para o ano de 2019.

A variável de consumo per capita de água possui uma particularidade na normalização, ocorre através de limites extremos (200l/hab.dia e 50 l/hab.dia) e de um limite ótimo (100 l/hab.dia), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Estes limites têm o intuito de destacar que tanto a falta de água quanto o uso excessivo desta, comprometem a eficiência do uso doméstico. Nos casos em que o consumo per capita de água for menor que 50 l/hab.dia ou maior que 200 l/hab.dia, o valor normalizado é 0 (OGATA, 2014).

O intervalo de referência para o indicador de consumo total de energia elétrica nos sistemas de águas foi estabelecido com base no valor máximo e no valor mínimo apresentados para o estado da Paraíba (desconsiderando os outliers identificados) no ano de 2019, disponíveis no SNIS. Estes valores são de 0,0 kWh/m<sup>3</sup> para o limite superior (preferível) e 2,25 kWh/m<sup>3</sup> para o limite inferior.

#### ▪ Indicadores de qualidade

Para os indicadores de incidência das análises de cloro residual e turbidez fora do padrão, foram levadas em consideração as recomendações presentes na Portaria GM/MS n° 888/2021, que dispõe, em seus artigos 32 e 28, o seguinte:

**Art. 32.** É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo.

**Art. 28, § 1º** Entre os 5% (cinco por cento) dos valores permitidos de turbidez superiores ao VMP estabelecido no Anexo 2 para água subterrânea, pós-desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT.

Para o indicador de incidência das análises de coliformes totais fora do padrão, a mesma portaria apresenta em seu Anexo 1 a tabela de padrão microbiológico da

água para consumo humano, considerando água tratada e pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatório e rede). A tabela está apresentada no Quadro 3.

**Quadro 3:** Tabela de padrão microbiológico da água para consumo humano

	PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
<b>COLIFORMES TOTAIS</b>	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes.	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.
	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes.	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: Adaptado de Portaria GM/MS nº 888/2021 do MS.

Portanto, para estes três indicadores de incidência das análises fora do padrão, foi estabelecido como limite inferior 100%, considerando todas as amostras analisadas fora dos limites estabelecidos pela portaria, e como limite superior 0%, considerando todas as amostras analisadas dentro dos limites estabelecidos.

#### ▪ **Indicadores infraestruturais**

Como limite inferior para o indicador de atendimento urbano de água foi utilizado o valor mínimo que esta variável alcança no conjunto de dados da Paraíba (2019), sendo de 60,5%. Já como limite superior foi utilizado 100%, visto ser o cenário ideal.

O intervalo de referência para o indicador de extensão da rede de abastecimento foi estabelecido com base no valor máximo e valor mínimo apresentados para o estado da Paraíba (desconsiderando os *outliers* identificados) no ano de 2019, disponíveis no SNIS, sendo de 13,1 m/ligação para o limite superior e 3,0 m/ligação para o limite inferior.

#### ▪ **Indicadores econômico-financeiros**

O intervalo de referência para os indicadores de tarifa média de água e produtividade também foram estabelecidos com base no valor máximo e valor mínimo apresentados para o estado da Paraíba (desconsiderando os *outliers* identificados) no

ano de 2019, disponíveis no SNIS. Os limites inferior e superior do indicador de tarifa média de água foram 3,64 R\$/m<sup>3</sup> e 4,58 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente, pois infere-se que, quanto maior a receita operacional por volume de água faturado, maiores são as condições de investimentos e melhoramentos do sistema, possibilitando expansão e ampliação do atendimento. Já para o indicador de produtividade (empregados próprios por 1000 ligações de água), o limite superior é de 10,06 empreg/mil lig. e o inferior de 0,05 empreg/mil lig.

#### 4.3.2 Segunda Etapa - Ponderação dos Indicadores

A etapa da ponderação consiste em atribuir pesos aos indicadores, e neste caso utilizou-se o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), descrito no ponto seguinte. Este método foi utilizado uma vez que reduz significativamente a subjetividade dos pesos atribuídos pelos especialistas, garantindo uma maior confiabilidade dos resultados.

##### 4.3.2.1. AHP – Analytic Hierarchy Process

O método AHP é utilizado para integrar e analisar os dados coletados, um método de análise multicritérios, que consiste em tomar decisões que envolvem complexidade e subjetividade (SAATY, 1988).

O fundamento do AHP consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991).

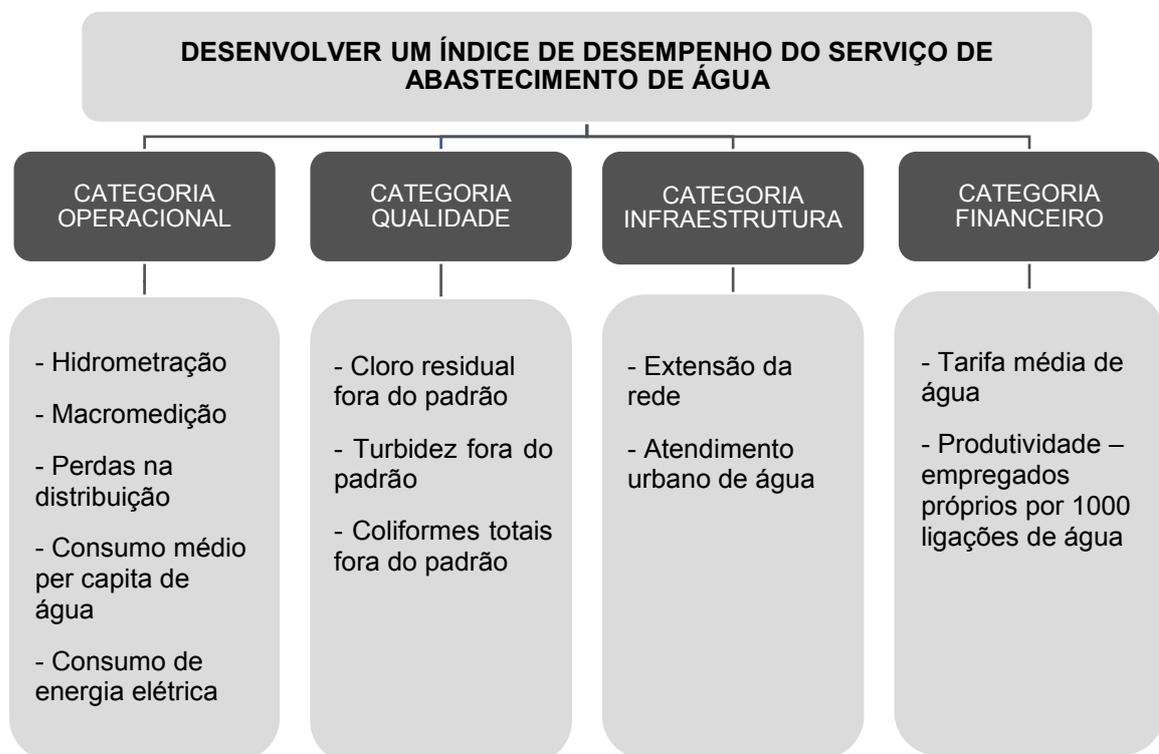
A metodologia deste método segue os seguintes passos

1. Hierarquização do Problema de Decisão;
2. Coleta dos julgamentos e construção das matrizes de decisão;
3. Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão
4. Razão de consistência da matriz de decisão;
5. Cálculo do peso final para cada variável.

## ▪ 1. Hierarquização do problema de decisão

Para Saaty, o AHP procura tratar a complexidade decompondo o problema em uma estrutura hierárquica, formando uma árvore invertida, em que no primeiro nível encontra-se o objetivo ou meta de decisão, passando por critérios, subcritérios e alternativas em sucessivos níveis, fazendo com que esta tenha uma ordem prioritária. A Figura 6 apresenta o modelo de estrutura hierárquica para a presente pesquisa.

**Figura 6:** Estrutura hierárquica para o desenvolvimento do índice



Fonte: A autora (2021).

## ▪ 2. Coleta dos julgamentos e construção das matrizes de decisão

Uma vez definida a estrutura hierárquica, faz-se a comparação par a par dos critérios, com o objetivo de definir os pesos de cada um. Essa comparação foi realizada através da construção de matrizes de comparação par a par, seguindo a proposta do método.

Esta matriz é construída através dos julgamentos de especialistas na área, que foram obtidos através do envio de questionários por e-mail ou outro canal de

comunicação, para que respondessem em um prazo estipulado e assim obtivessem a matriz completa.

Este julgamento é realizado utilizando a escala numérica de Saaty (Tabela 2), que representa os pesos dos julgamentos comparativos. Para se fazer o bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty.

Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos, que neste caso são os indicadores. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha de topo (Saaty, 1994).

A escala recomendada por Saaty (1980), mostrada na Tabela 2, vai de 1 a 9, com 1 significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis de 1 a 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados (SILVA, 2007).

**Tabela 2:** Escala fundamental de Saaty

VALOR	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro.
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A matriz de julgamentos construída obedece a teoria da matriz recíproca, em que:

$$a_{ij} > 0; a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1 \text{ e } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \\ a_{n1} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

### ▪ 3. Obtenção dos autovalores e autovetores das matrizes de decisão

Com a matriz construída puderam ser obtidos o autovalor e autovetor, com o autovetor indicando a importância do indicador em relação aos demais. Existem diversas formas de obtenção desse vetor peso, mas nesse estudo foi utilizado o método da média dos valores normalizados, que segue os seguintes passos.

1. Normalização dos valores pela soma dos elementos de cada coluna;
2. Média dos elementos de cada linha;
3. Cálculo do autovalor associado ao vetor obtido na etapa 2, através da Equação 16.

$$\lambda = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{A_w}{w} \quad (16)$$

Sendo,

- $A_w$ : matriz de comparação paritária;
- $w$ : vetor peso;
- $n$ : ordem da matriz.

### ▪ 4. Razão de consistência da matriz de decisão

Deve ser verificada a existência de desvio entre as comparações para validar os julgamentos realizados. Com este objetivo, foi realizado o teste de inconsistência através da Razão de Consistência dos julgamentos (RC), obtida com a Equação 17.

A RC deve ser menor que 0,20 para que seja considerada aceitável, caso esta condição não seja satisfeita, é necessário refazer os julgamentos ou descartar a avaliação.

$$RC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} / IR \quad (17)$$

Sendo,

- $IR$ : Índice Randômico (padronizado e dependente da ordem da matriz, apresentado na Tabela 3);
- $\lambda_{m\acute{a}x}$ : maior autovalor da matriz de julgamentos.

**Tabela 3:** Índice Randômico Médio do AHP

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991).

#### ▪ 5. Cálculo do peso final para cada variável

Para obtenção dos pesos finais de cada indicador, foi realizada a média dos pesos dos pesquisadores quanto aos critérios analisados.

A média foi calculada eliminando os outliers presentes. A forma utilizada para identificar estes valores atípicos foi a amplitude interquartil ( $IQR$  – *Interquartile Range*), que é a diferença entre o terceiro e o primeiro quartil (Equação 18) do conjunto de dados. Para determinar os limites superior e inferior dos resultados, foram utilizadas as Equações 19 e 20. Todos os valores que apresentaram resultados abaixo do limite inferior, ou acima do limite superior desta faixa, foram desconsiderados.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (18)$$

$$L_{SUP} = \bar{X} + (1,5 \times IQR) \quad (19)$$

$$L_{INF} = \bar{X} - (1,5 \times IQR) \quad (20)$$

Sendo,

- $IQR$ : amplitude interquartil;
- $Q_3$ : terceiro quartil;

- $Q_1$ : primeiro quartil;
- $L_{SUP}$ : Limite superior do peso do indicador;
- $L_{INF}$ : Limite inferior do peso do indicador;
- $\bar{X}$ : Peso médio do indicador.

#### 4.3.3 Terceira etapa - Agregação dos Indicadores

Após a normalização e ponderação, os indicadores foram agregados, sendo esta a última etapa para gerar o índice de desempenho dos sistemas de abastecimento de água. Essa agregação dos indicadores é obtida através do método aritmético ou geométrico.

Para o presente estudo optou-se pelo método aritmético, expresso pela equação 21, pois este realiza perfeita substitutibilidade e compensação dos componentes, fazendo com que os componentes de valores maiores sejam compensados por componentes de valores menores (JUWANA; MUTTIL; PERERA, 2012).

$$I = \sum_{i=0}^n W_i \times S_i \quad (21)$$

Sendo,

- $I$ : Desempenho do indicador;
- $W_i$ : Peso atribuído à cada indicador;
- $S_i$ : Valor atribuído ao indicador (Normalizado);
- $n$ : Quantidade de indicadores utilizados.

Através da Equação 21, obteve-se a Equação 22 para o caso do Índice de Desempenho do Serviço de Abastecimento de Água, que foi utilizada para todos os municípios.

$$IDSA = W_{OP_1}S_{OP_1} + W_{OP_2}S_{OP_2} + W_{OP_3}S_{OP_3} + W_{OP_4}S_{OP_4} + W_{OP_5}S_{OP_5} + W_{IQ_1}S_{IQ_1} + W_{IQ_2}S_{IQ_2} + W_{IQ_3}S_{IQ_3} + W_{II_1}S_{II_1} + W_{II_2}S_{II_2} + W_{IF_1}S_{IF_1} + W_{IF_2}S_{IF_2} \quad (22)$$

#### 4.3.4 Quarta etapa - Classificação do Índice

Para uma visão mais geral do índice, foi proposta uma classificação para a qualidade dos serviços de abastecimento de água dos municípios. Com este objetivo,

realizou-se uma divisão numérica em cinco intervalos com variação regular, e para cada intervalo foi atribuída uma escala nominal, para maior clareza e interpretação dos resultados.

Esta classificação foi baseada nos estudos desenvolvidos por Medeiros (2017) e está apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Categorias de classificação do Índice de Desempenho do Sistema de Abastecimento de Água

CLASSIFICAÇÃO	INTERVALO
<b>Péssimo</b>	0 – 20
<b>Ruim</b>	20 – 40
<b>Regular</b>	40 – 60
<b>Bom</b>	60 – 80
<b>Ótimo</b>	80 – 100

Fonte: Medeiros (2017).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 RESULTADOS REFERENTES AOS INDICADORES

Nos tópicos 5.1.1 a 5.1.4 são apresentados os valores dos 12 indicadores selecionados para todos os municípios, divididos por categoria. Estes resultados foram obtidos por meio do banco de dados municipal do SNIS para o ano de 2019. É importante destacar que o município de Riachão não apresentou dados para o ano de 2019, portanto, foram utilizados os valores dos anos de 2017 e 2018.

#### 5.1.1 Indicadores operacionais

A Tabela 5 apresenta os resultados dos indicadores operacionais para os 12 municípios.

**Tabela 5:** Resultados dos indicadores operacionais

MUNICÍPIO	VALOR OBTIDO				
	OP <sub>1</sub>	OP <sub>2</sub>	OP <sub>3</sub>	OP <sub>4</sub>	OP <sub>5</sub>
<b>AREIA</b>	90,89%	0%	35,69%	122,9 l/hab.dia	1,39 kWh/m <sup>3</sup>
<b>BANANEIRAS</b>	83,46%	0%	41,92%	79,8 l/hab.dia	2,82 kWh/m <sup>3</sup>
<b>BOA VISTA</b>	97,99%	0%	28,55%	94,3 l/hab.dia	0,63 kWh/m <sup>3</sup>
<b>CAIÇARA</b>	90,43%	100%	30,57%	75,1 l/hab.dia	0,04 kWh/m <sup>3</sup>
<b>CASSERENGUE</b>	74,93%	0%	48,93%	51,0 l/hab.dia	0,18 kWh/m <sup>3</sup>
<b>ESPERANÇA</b>	85,25%	0%	5,51%	82,1 l/hab.dia	0,69 kWh/m <sup>3</sup>
<b>NATUBA</b>	98,63%	0%	31,82%	101 l/hab.dia	3,35 kWh/m <sup>3</sup>
<b>POCINHOS</b>	99,26%	0%	10,62%	76,3 l/hab.dia	2,37 kWh/m <sup>3</sup>
<b>REMÍGIO</b>	78,18%	0%	8,21%	57,4 l/hab.dia	0,34 kWh/m <sup>3</sup>
<b>RIACHÃO</b>	82,59%	0%	4,51%	56,5 l/hab.dia	2,72 kWh/m <sup>3</sup>
<b>SERTÃOZINHO</b>	86,37%	100%	32,2%	83,3 l/hab.dia	0,89 kWh/m <sup>3</sup>
<b>SOLÂNEA</b>	84,19%	0%	16,66%	78,0 l/hab.dia	1,78 kWh/m <sup>3</sup>

Fonte: SNIS (2019).

Para o indicador de hidromedtação (OP<sub>1</sub>) observa-se que sete municípios se encontram abaixo da média da região Nordeste de 88,5% (SNIS, 2019), ficando acima da média apenas os municípios de Areia, Boa Vista, Caiçara, Natuba e Pocinhos. Esse cenário mostra que somente cinco municípios realizam um controle eficiente das micromedções. No entanto, quando se considera a média do estado da Paraíba, que é de 81,75%, apenas dois municípios apresentaram um resultado inferior a este, que são Casserengue e Remígio. É importante ressaltar que a universalização da micromedção pode incentivar os usuários a um uso racional da água (ABAR, 2014), uma vez que mensura de forma efetiva o consumo dos usuários.

A avaliação do indicador de macromedção (OP<sub>2</sub>) mostrou valores muito insatisfatórios, uma vez que dez municípios apresentaram o mínimo valor que esta variável consegue alcançar. Apenas os municípios de Caiçara e Sertãozinho obtiveram um bom resultado. O indicador de macromedção permite maior confiabilidade no levantamento dos volumes produzidos, e, conseqüentemente, da apuração das perdas na distribuição.

Com relação ao indicador de perdas na distribuição (OP<sub>3</sub>), apenas o município de Casserengue apresenta um resultado superior à média do Nordeste de 45,7%, apresentando, portanto, o resultado menos favorável. Apesar de todos os outros municípios possuírem um percentual abaixo da média estadual e nacional, apenas três municípios (Esperança, Pocinhos e Remígio) tem o resultado menor que 15%, que corresponde ao padrão de excelência atribuído a outras cidades analisadas, de acordo com o Instituto Trata Brasil (2020). A mensuração das perdas na distribuição torna-se imprescindível frente a cenários de escassez hídrica e de altos custos de energia elétrica, além da sua relação direta com a saúde financeira dos prestadores de serviços, uma vez que podem representar desperdício de recursos naturais, operacionais e de receitas (SNIS, 2019).

Para o indicador de consumo médio per capita de água (OP<sub>4</sub>) apenas dois municípios (Areia e Natuba) ultrapassaram o limite “ótimo” estabelecido pela ONU de 100 l/hab.dia. Todos os outros municípios encontram-se dentro do intervalo preferível de 50 l/hab.dia a 100 l/hab.dia. É necessário atentar que o uso racional da água traz resultados a curto, médio e longo prazos, beneficiando a sustentabilidade hídrica, gerando menores impactos ambientais, além de maior durabilidade das infraestruturas físicas.

Seis municípios apresentaram resultados acima da média do estado da Paraíba para o indicador de consumo de energia elétrica (OP<sub>5</sub>), sendo eles, Areia, Bananeiras, Natuba, Pocinhos, Riachão e Solânea. Esse resultado pode estar associado ao desgaste natural das infraestruturas, falta de medidas de reabilitação e manutenção, bem como a características particulares dos municípios, como por exemplo, o relevo variável das regiões, que elevam os custos com bombas.

### *5.1.2 Indicadores de qualidade*

A Tabela 6 apresenta os resultados dos indicadores de qualidade para os 12 municípios.

**Tabela 6:** Resultados dos indicadores de qualidade

MUNICÍPIO	VALOR OBTIDO		
	IQ <sub>1</sub>	IQ <sub>2</sub>	IQ <sub>3</sub>
AREIA	3,21%	0,36%	12,50%
BANANEIRAS	56,86%	1,3%	13,91%
BOA VISTA	18,31%	0%	2,82%
CAIÇARA	3,41%	0%	2,9%
CASSERENGUE	79,4%	60%	4,29%
ESPERANÇA	2,7%	3,45%	1,48%
NATUBA	26,92%	2,88%	7,69%
POCINHOS	22,09%	1,61%	11,65%
REMÍGIO	0%	20%	0%
RIACHÃO	82,65%	0%	0%
SERTÃOZINHO	53,8%	5,93%	13,28%
SOLÂNEA	95,73%	0%	2,45%

Fonte: SNIS (2019).

Para o indicador de Incidência das Análises de Cloro Residual fora do padrão (IQ<sub>1</sub>), apenas três municípios (Areia, Caiçara e Esperança) obtiveram bons resultados, o que indica que a grande maioria não atendeu ao valor estabelecido pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde.

Por outro lado, os indicadores de incidência das análises de turbidez (IQ<sub>2</sub>) e coliformes totais (IQ<sub>3</sub>) fora do padrão apresentaram melhores resultados, evidenciando que a maior parte das amostras analisadas estavam dentro dos padrões na maioria dos municípios. Estes resultados são importantes, uma vez que a regulação se beneficia pela possibilidade de monitoramento constante da qualidade da água, pela seleção de sistemas de abastecimento e/ou regiões para fiscalização *in loco*, ou mesmo por possibilitar a criação, na regulação tarifária, de mecanismos de incentivo à manutenção ou melhoria da qualidade do serviço (ABAR, 2014).

### 5.1.3 Indicadores infraestruturais

A Tabela 7 apresenta os resultados dos indicadores infraestruturais para os 12 municípios.

**Tabela 7:** Resultados dos indicadores infraestruturais

MUNICÍPIO	VALOR OBTIDO	
	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>
<b>AREIA</b>	10,00 m/ligação	94,60%
<b>BANANEIRAS</b>	7,40 m/ligação	53,50%
<b>BOA VISTA</b>	10,00 m/ligação	100,00%
<b>CAIÇARA</b>	5,00 m/ligação	100,00%
<b>CASSERENGUE</b>	3,90 m/ligação	67,00%
<b>ESPERANÇA</b>	4,00 m/ligação	72,30%
<b>NATUBA</b>	5,40 m/ligação	100,00%
<b>POCINHOS</b>	3,30 m/ligação	100,00%
<b>REMÍGIO</b>	3,40 m/ligação	100,00%
<b>RIACHÃO</b>	7,40 m/ligação	84,50%
<b>SERTÃOZINHO</b>	3,70 m/ligação	100,00%
<b>SOLÂNEA</b>	4,60 m/ligação	94,70%

Fonte: SNIS (2019).

Na análise do indicador de extensão da rede de água por ligação (II<sub>1</sub>), dez municípios não apresentaram bons resultados. Para o quesito mencionado, apenas os municípios de Areia e Boa Vista obtiveram resultados acima da média regional (9,0 m/ligação) e nacional (11,5 m/ligação). E considerando-se a média estadual de 7,38 m/ligação, ficam acima da média também os municípios de Riachão e Bananeiras. Este indicador é extremamente importante para contextualizar a universalização, pois baixo adensamento horizontal exige maiores investimentos para disponibilizar rede de abastecimento de água à população (ABAR, 2014).

Por outro lado, o indicador de atendimento urbano de água (II<sub>2</sub>) apresentou bons resultados na maioria dos municípios. Divergem dessa realidade apenas os municípios de Bananeiras, Casserengue e Esperança, que apresentaram resultados abaixo das médias regional (73,9%) e nacional (83,7%). Assim como o II<sub>1</sub>, este indicador é relevante no contexto da universalização, pois permite acompanhar o incremento do serviço na zona urbana. Merecem destaque os municípios de Boa Vista, Caiçara, Natuba, Pocinhos, Remígio e Sertãozinho, que dispõem de serviços de água encanada à disposição de toda a população urbana.

#### 5.1.4 Indicadores econômico-financeiros

A Tabela 8 apresenta os resultados dos indicadores financeiros para os 12 municípios.

**Tabela 8:** Resultados dos indicadores financeiros

MUNICÍPIO	VALOR OBTIDO	
	IF <sub>1</sub>	IF <sub>2</sub>
AREIA	5,34 R\$/m <sup>3</sup>	4,51 empreg/mil lig
BANANEIRAS	4,23 R\$/m <sup>3</sup>	5,87 empreg/mil lig
BOA VISTA	4,84 R\$/m <sup>3</sup>	5,88 empreg/mil lig
CAIÇARA	3,92 R\$/m <sup>3</sup>	1,20 empreg/mil lig
CASSERENGUE	4,00 R\$/m <sup>3</sup>	1,38 empreg/mil lig
ESPERANÇA	2,27 R\$/m <sup>3</sup>	2,64 empreg/mil lig
NATUBA	4,28 R\$/m <sup>3</sup>	2,74 empreg/mil lig
POCINHOS	4,03 R\$/m <sup>3</sup>	1,96 empreg/mil lig
REMÍGIO	4,44 R\$/m <sup>3</sup>	3,68 empreg/mil lig
RIACHÃO	8,44 R\$/m <sup>3</sup>	3,32 empreg/mil lig
SERTÃOZINHO	3,96 R\$/m <sup>3</sup>	1,73 empreg/mil lig
SOLÂNEA	4,08 R\$/m <sup>3</sup>	2,99 empreg/mil lig

Fonte: SNIS (2019).

A tarifa média de água (IF<sub>1</sub>) praticada pelos municípios correspondentes a Bananeiras, Casserengue, Esperança, Pocinhos, Sertãozinho e Solânea, é inferior à média praticada na região Nordeste. Já no caso das cidades de Areia e Riachão, que possuem um resultado superior à média, apresentaram resultados atípicos quando em comparação aos demais municípios do estado da Paraíba.

Apesar deste cenário, infere-se que, quanto maior a receita operacional por volume de água faturado, maiores são as condições de investimentos e melhoramentos do sistema, possibilitando expansão e ampliação do atendimento. Paralelo a isto, é inegável que quanto menor for a taxa praticada, mais facilitado será o acesso ao serviço por parte da população de baixa renda. No entanto, a companhia de água e esgotos da Paraíba (CAGEPA) possui um mecanismo para prover o serviço a pessoas e comunidades que não tem condições de pagar, que é a tarifa social.

Para o indicador de produtividade – empregados próprios por 1000 ligações de água (IF<sub>2</sub>), cinco municípios apresentaram resultados inferiores à média da região Nordeste (2,66 empreg/mil lig), sendo eles Caiçara, Casserengue, Esperança, Pocinhos e Sertãozinho. Valores muito baixos deste indicador podem sugerir carência de pessoal para executar os serviços, com impactos na qualidade (ABAR, 2014).

A Tabela 9 apresenta um resumo com as médias estadual, regional e nacional para cada indicador.

**Tabela 9:** Médias estadual, regional e nacional para os indicadores

INDICADOR	PARAÍBA	NORDESTE	BRASIL
OP1	81,75%	88,5%	92,2%
OP2	33,11%	67,2%	81,8%
OP3	39,32%	45,7%	39,2%
OP4	113,4 l/hab.dia	120,6 l/hab.dia	153,9 l/hab.dia
OP5	1,01 kWh/m <sup>3</sup>	1,18 kWh/m <sup>3</sup>	0,94 kWh/m <sup>3</sup>
IQ1	17,45%	7,16%	4,26%
IQ2	6,37%	10,01%	5,79%
IQ3	6,88%	6,45%	3,96%
II1	7,38 m/lig	9,0 m/lig	11,5 m/lig
II2	84,32%	86,75%	92,02%
IF1	4,13 R\$/m <sup>3</sup>	4,28 R\$/m <sup>3</sup>	4,31 R\$/m <sup>3</sup>
IF2	5,2 empreg/mil lig	2,51 empreg/mil lig	3,29 empreg/mil lig

Fonte: SNIS (2019).

## 5.2 RESULTADOS DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

### 5.2.1 Normalização dos indicadores

Com a finalidade de ajustar os valores para uma escala comum, foi realizada a normalização dos indicadores, utilizando o limite superior e o limite inferior apresentados na Tabela 1. Os resultados foram obtidos através da Equação 14, visto que foi adotada a classificação de valores entre 0 e 100, e estão apresentados na Tabela 10.

Quanto mais próximo de 100, mais satisfatório é o indicador para o município. Nos casos em que os indicadores não alcançavam o limite inferior, foi atribuído o valor normalizado de 0, e nos casos em que o limite superior foi ultrapassado, foi atribuído 100.

Os valores normalizados auxiliam a comparação entre os resultados apresentados pelos municípios, portanto, para cada indicador foi gerado um mapa graduado, com o auxílio do software Quantum GIS 3.16.1, que facilita a visualização e comparação dos resultados obtidos por cada município. Essa classificação foi dividida em quatro intervalos, sendo eles: 0%-25%; 25%-50%; 50%-75% e 75% a 100%. Quanto mais próximo de 100%, e, portanto, mais destacada for a coloração da análise, melhor o desempenho do município para o indicador em questão.

A partir da análise dos mapas infere-se que dentre os indicadores operacionais (Figura 7), dois merecem destaque, que são os indicadores OP<sub>2</sub> e OP<sub>5</sub>, indicador de macromedição e indicador de consumo de energia elétrica, respectivamente, visto que a maioria dos municípios apresentaram resultados abaixo de 50. Nesta categoria de indicadores se destacaram os municípios de Caiçara e Sertãozinho, os quais permaneceram com resultados acima da média em todos os indicadores.

Os indicadores de incidência das análises de turbidez (IQ<sub>2</sub>) e coliformes totais fora do padrão (IQ<sub>3</sub>) apresentaram um bom desempenho para a todos dos municípios, com exceção de Casserengue, que obteve um resultado menor que os demais para o IQ<sub>2</sub>. Este cenário pode ser observado pela coloração destacada dos mapas da Figura 8. Com relação à incidência das análises de cloro residual fora do padrão, cinco municípios apresentaram déficit neste indicador, no entanto, a maioria ainda continuou dentro do limite mais favorável.

Com a análise dos mapas dos indicadores infraestruturais (Figura 9), percebe-se que o indicador de atendimento urbano de água (II<sub>2</sub>) apresenta melhores resultados, em detrimento do indicador de extensão da rede de água por ligação (II<sub>1</sub>). Os municípios de Areia e Boa Vista obtiveram os melhores resultados para esta categoria, atingindo mais de 50% do valor esperado nos dois indicadores.

Finalmente, os indicadores financeiros apresentaram resultados mais bem distribuídos em torno dos valores médios. Apenas quatro municípios se encontram na categoria mais elevada (75-100), para o indicador de tarifa de água (IF<sub>1</sub>), e quatro

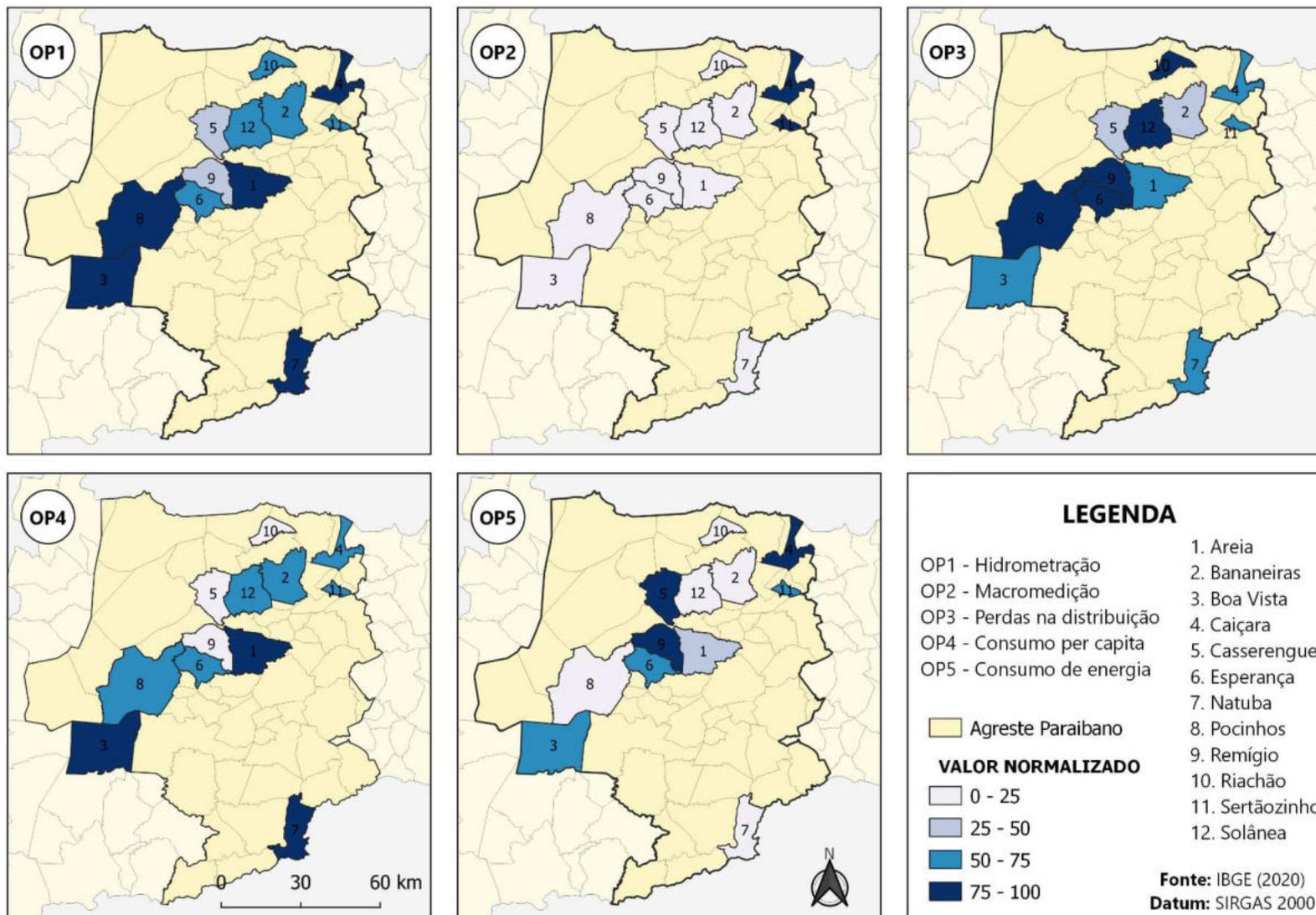
municípios na categoria menos elevada (0-25), para o indicador de produtividade (IF<sub>2</sub>). Considerando os dois indicadores, destacam-se os municípios de Areia e Boa Vista.

**Tabela 10:** Indicadores normalizados

MUNICÍPIO	VALORES NORMALIZADOS											
	OP <sub>1</sub>	OP <sub>2</sub>	OP <sub>3</sub>	OP <sub>4</sub>	OP <sub>5</sub>	IQ <sub>1</sub>	IQ <sub>2</sub>	IQ <sub>3</sub>	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	IF <sub>1</sub>	IF <sub>2</sub>
<b>AREIA</b>	78,66	0	55,51	77,1	38,22	96,79	99,64	87,5	69,31	86,33	100,0	44,56
<b>BANANEIRAS</b>	61,25	0	45,68	59,6	0	43,14	98,7	86,09	43,56	0	62,77	58,14
<b>BOA VISTA</b>	95,29	0	66,77	88,6	72	81,69	100	97,18	69,31	100	100,0	58,24
<b>CAIÇARA</b>	77,58	100	63,58	50,2	98,22	96,59	100	97,1	19,80	100	29,79	11,49
<b>CASSERENGUE</b>	41,26	0	34,62	2	92	20,6	40	95,71	8,91	16,46	38,30	13,29
<b>ESPERANÇA</b>	65,44	0	100	64,2	69,33	97,3	96,55	98,52	9,90	29,87	0	25,87
<b>NATUBA</b>	96,79	0	61,61	99	0	73,08	97,12	92,31	23,76	100	68,09	26,87
<b>POCINHOS</b>	98,27	0	95,06	52,6	0	77,91	98,39	88,35	2,97	100	41,49	19,08
<b>REMÍGIO</b>	48,88	0	98,86	14,8	84,89	100	80	100	3,96	100	85,11	36,26
<b>RIACHÃO</b>	59,21	0	100	13,00	0	17,35	100	100	43,56	60,76	100,0	32,67
<b>SERTÃOZINHO</b>	68,06	100	61,01	66,6	60,44	46,2	94,07	86,72	6,93	100	34,04	16,78
<b>SOLÂNEA</b>	62,96	0	85,53	56	20,89	4,27	100	97,55	15,84	86,58	46,81	29,37

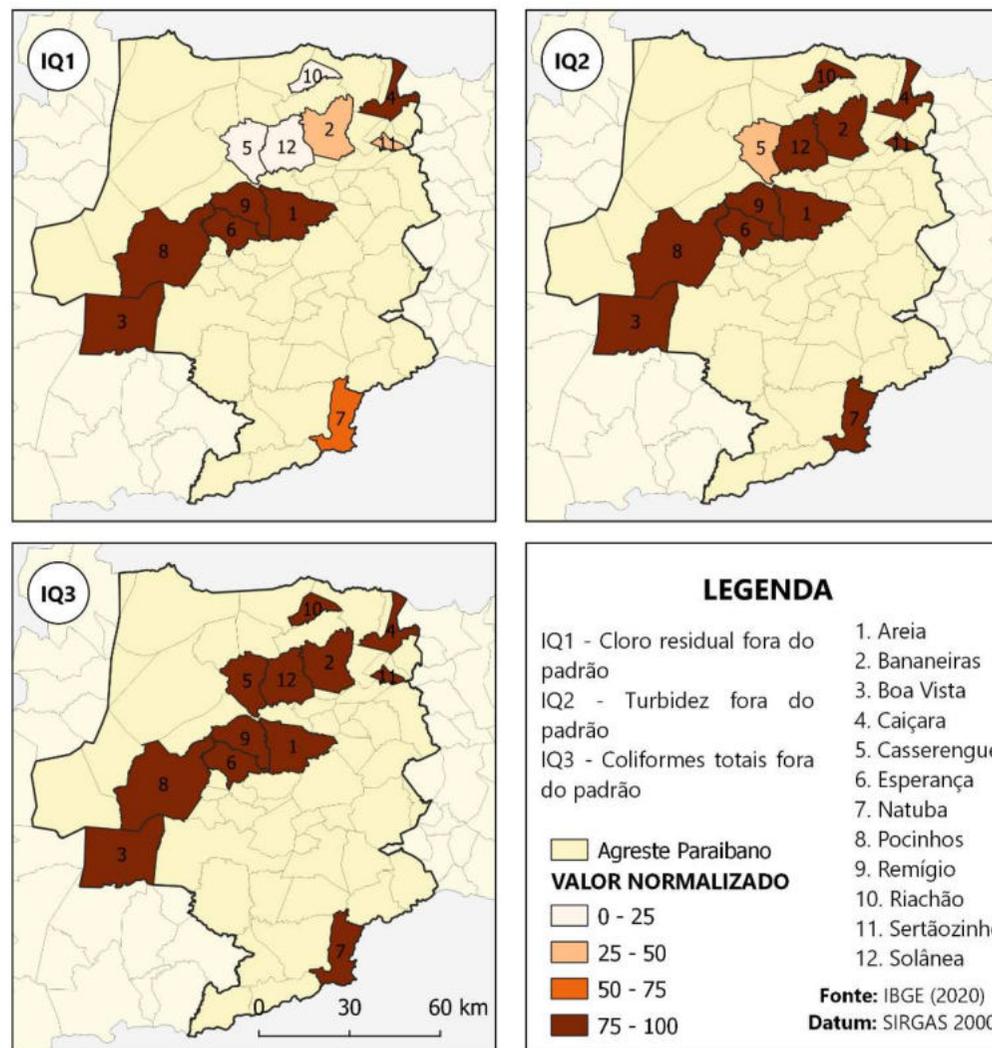
Fonte: A autora (2021).

**Figura 7:** Mapa dos indicadores operacionais para os municípios estudados, distribuídos por faixas numéricas



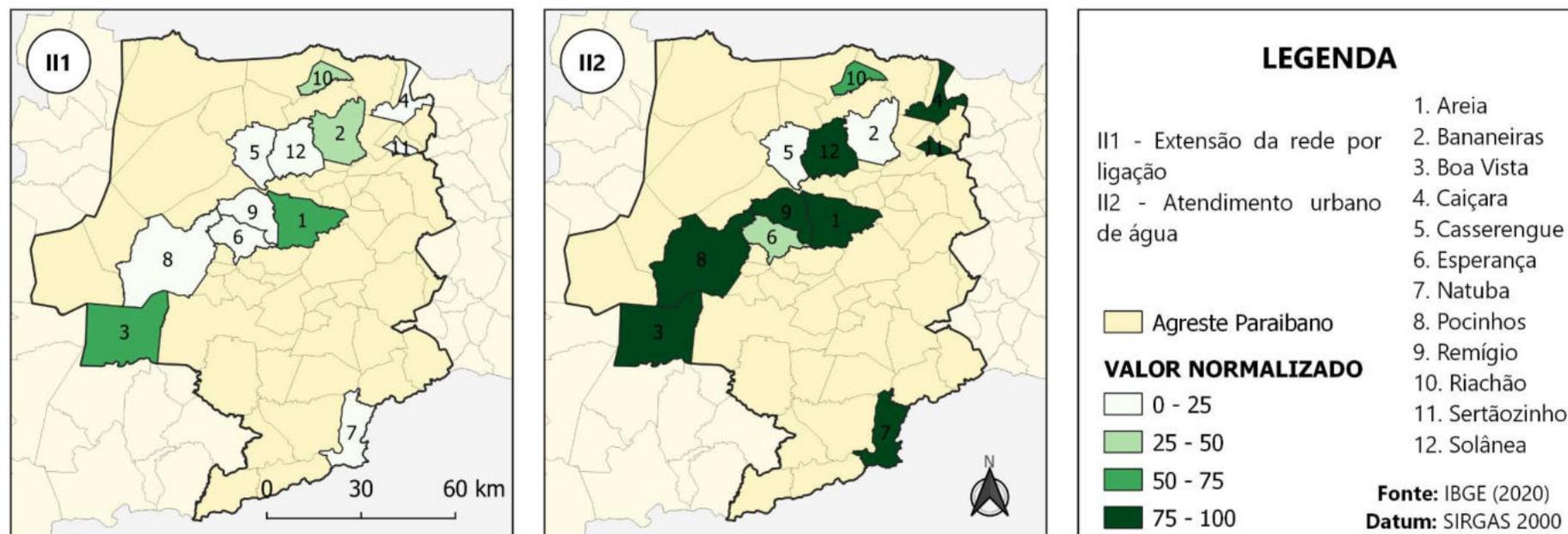
Fonte: A autora (2021).

**Figura 8:** Mapa dos indicadores de qualidade para os municípios estudados, distribuídos por faixas numéricas



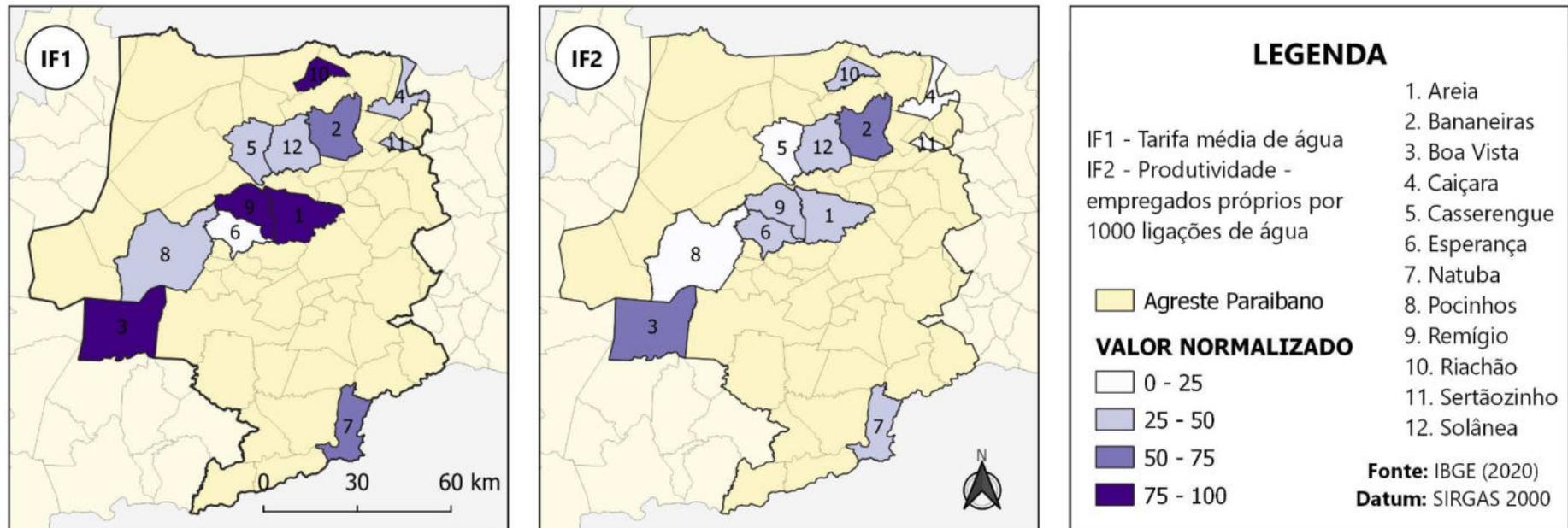
Fonte: A autora (2021).

**Figura 9:** Mapa dos indicadores infraestruturais para os municípios estudados, distribuídos por faixas numéricas



Fonte: A autora (2021).

**Figura 10:** Mapa dos indicadores financeiros para os municípios estudados, distribuídos por faixas numéricas



Fonte: A autora (2021).

### 5.2.2 Ponderação

Finalizada a etapa de normalização, foi atribuído o peso de cada indicador, que aponta a importância de um indicador com relação aos demais. Para isso, foi obtido o julgamento de especialistas na área, através da aplicação de questionários utilizando o método AHP. O questionário, apresentado no Apêndice A, foi enviado por e-mail e whatsapp para 15 especialistas, dentre os quais 11 responderam dentro do prazo estipulado.

Com as matrizes preenchidas, obteve-se o autovetor e autovalor para cada matriz, que estão apresentados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

**Tabela 11:** Autovetores para a matriz de cada especialista

AUTOVETORES											
INDICADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>OP1</b>	0,068	0,110	0,037	0,064	0,092	0,223	0,030	0,159	0,164	0,053	0,075
<b>OP2</b>	0,068	0,110	0,026	0,043	0,092	0,134	0,032	0,130	0,167	0,107	0,062
<b>OP3</b>	0,097	0,110	0,048	0,050	0,092	0,114	0,040	0,141	0,108	0,065	0,079
<b>OP4</b>	0,022	0,059	0,034	0,051	0,092	0,067	0,036	0,055	0,150*	0,047	0,038
<b>OP5</b>	0,015	0,110	0,057	0,023	0,058	0,071	0,034	0,044	0,020	0,146*	0,012
<b>IQ1</b>	0,228	0,110	0,100	0,131	0,132	0,128	0,218	0,159	0,100	0,033	0,291*
<b>IQ2</b>	0,047	0,110	0,100	0,175	0,132	0,059	0,099	0,097	0,039	0,033	0,136
<b>IQ3</b>	0,228	0,110	0,182	0,220	0,132	0,082	0,235	0,097	0,063	0,033	0,151
<b>II1</b>	0,015	0,032	0,019	0,093	0,071	0,014	0,034	0,040	0,043	0,057	0,082
<b>II2</b>	0,105	0,094	0,097	0,106	0,071	0,087	0,125	0,051*	0,104	0,050	0,034*
<b>IF1</b>	0,053	0,036	0,228*	0,016	0,019	0,010	0,050	0,014	0,031	0,145*	0,015
<b>IF2</b>	0,053	0,010	0,072	0,029	0,017	0,011	0,068	0,014	0,012	0,231*	0,024
<b>SOMA</b>	<b>1</b>										

\* Valores atípicos - outliers

Fonte: A autora (2021).

**Tabela 12:** Autovalores para a matriz de cada especialista

AUTOVALORES											
INDICADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>OP1</b>	14,04	13,91	12,75	14,37	12,51	16,47	13,52	14,90	15,24	21,87	20,98
<b>OP2</b>	14,04	13,91	12,94	13,63	12,51	17,04	13,46	15,62	14,75	27,85	20,50
<b>OP3</b>	14,32	13,91	13,07	13,74	12,51	16,29	13,40	15,63	14,88	25,56	19,79
<b>OP4</b>	12,91	15,21	13,02	15,00	12,51	13,40	13,52	16,26	15,49	22,87	18,46
<b>OP5</b>	13,14	13,91	13,69	12,66	12,37	13,34	13,56	16,30	12,71	25,54	17,06
<b>IQ1</b>	14,53	13,91	14,85	14,88	13,12	14,34	14,48	16,50	16,28	28,77	22,89
<b>IQ2</b>	13,68	13,91	14,85	15,14	13,12	12,71	13,76	15,64	14,23	28,77	21,53
<b>IQ3</b>	14,53	13,91	17,29	14,45	13,12	13,46	14,28	15,81	14,30	28,77	22,55
<b>II1</b>	13,14	12,85	13,91	15,27	12,38	12,63	14,16	13,25	15,28	31,28	25,74
<b>II2</b>	13,48	12,27	16,26	15,59	12,38	13,38	14,96	13,13	15,85	30,51	14,45
<b>IF1</b>	17,38	12,21	16,63	14,05	13,02	13,30	14,76	14,37	14,38	25,76	13,44
<b>IF2</b>	17,38	12,20	14,39	12,72	12,57	12,89	13,90	14,37	13,92	20,63	13,17

Fonte: A autora (2021).

Em seguida, foi verificada a existência de desvios entre as comparações através da razão de consistência da matriz de julgamentos (Equação 20). Aconselha-se que a razão de consistência deve ser menor ou igual a 0,20 para que possa ser considerado aceitável. Entretanto, esta condição não foi satisfeita para a avaliação de dois especialistas, sendo estas descartadas. Os resultados obtidos para a razão de consistência são apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13:** Razão de Consistência para cada especialista

ESPECIALISTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>RC</b>	0,15	0,09	0,15	0,14	0,04	0,13	0,12	0,19	0,17	0,89*	0,44*

\* RC superior ao limite

Fonte: A autora (2021).

Finalmente, desconsiderando os julgamentos inconsistentes, foram utilizadas 9 avaliações, cujos pesos estão apresentados na Tabela 14.

Os pesos de cada especialista foram comparados entre si para a verificação de *outliers*, sendo encontrados um total de oito pesos atípicos (destacados em vermelho

na Tabela 11). Após o descarte dos outliers, e dos julgamentos inconsistentes, o valor final foi obtido através da normalização dos pesos, com o objetivo de que o somatório dos pesos finais resultasse em 1. Os resultados para esta etapa da ponderação estão apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14:** Coeficientes de ponderação finais

INDICADOR	MÉDIA INICIAL	MÉDIA APÓS DESCARTE DOS OUTLIERS	PESO FINAL
<b>INDICADORES OPERACIONAIS</b>			
OP1	0,105	0,105	<b>0,108</b>
OP2	0,089	0,089	<b>0,092</b>
OP3	0,089	0,089	<b>0,091</b>
OP4*	0,063	0,052	<b>0,053</b>
OP5	0,048	0,048	<b>0,049</b>
<b>INDICADORES DE QUALIDADE</b>			
IQ1	0,145	0,145	<b>0,149</b>
IQ2	0,095	0,095	<b>0,098</b>
IQ3	0,150	0,150	<b>0,154</b>
<b>INDICADORES INFRAESTRUTURAIS</b>			
II1	0,040	0,040	<b>0,041</b>
II2*	0,093	0,099	<b>0,101</b>
<b>INDICADORES ECONÔMICO-FINANCEIROS</b>			
IF1*	0,051	0,029	<b>0,029</b>
IF2	0,032	0,032	<b>0,033</b>
<b>SOMA TOTAL</b>	1,000	0,972	<b>1,000</b>

\* Indicadores que apresentaram valores atípicos.

Fonte: A autora (2021).

A partir da análise da Tabela 14 nota-se que os maiores pesos foram atribuídos aos indicadores de incidência das análises de cloro residual fora do padrão, e incidência das análises de coliformes totais fora do padrão. Esse resultado indica que, do ponto de vista dos especialistas, os indicadores de qualidade são prioritários quanto ao desempenho dos sistemas de abastecimento de água, provavelmente dada a importância que a qualidade da água distribuída tem para a saúde da população.

Para uma melhor visualização e discussão, a Tabela 15 apresenta o peso de cada classe de indicadores, obtida com a soma do peso de cada indicador.

**Tabela 15:** Pesos por categoria

CATEGORIA	PESO TOTAL
<b>INDICADORES OPERACIONAIS</b>	0,394
<b>INDICADORES DE QUALIDADE</b>	0,401
<b>INDICADORES INFRAESTRUTURAIS</b>	0,143
<b>INDICADORES FINANCEIROS</b>	0,062

Fonte: A autora (2021).

Com este resultado, é notável a influência dos indicadores de qualidade e operacionais no índice final, correspondendo 40,1% e 39,4% do valor total do índice, respectivamente. Os indicadores infraestruturais apresentam uma influência de 14,3%. Os indicadores financeiros por sua vez, corresponderam a apenas 6,2% do índice final, tal cenário indica que, de acordo com os especialistas, esta categoria não possui grande influência sobre classificação do desempenho dos sistemas.

### 5.2.3 Agregação e classificação nominal

Após a etapa de normalização e ponderação, foi realizada a agregação dos indicadores pelo método aritmético descrito no tópico 4.3, utilizando a Equação 21. Com os indicadores agregados, foi possível calcular o índice final de avaliação do desempenho do serviço de abastecimento de água para os 12 municípios, e ainda realizar a classificação nominal dos mesmos, considerando as categorias de classificação da Tabela 4. Os valores dos índices encontrados, bem como sua classificação nominal estão apresentados na Tabela 16 e representados através do mapa da Figura 11.

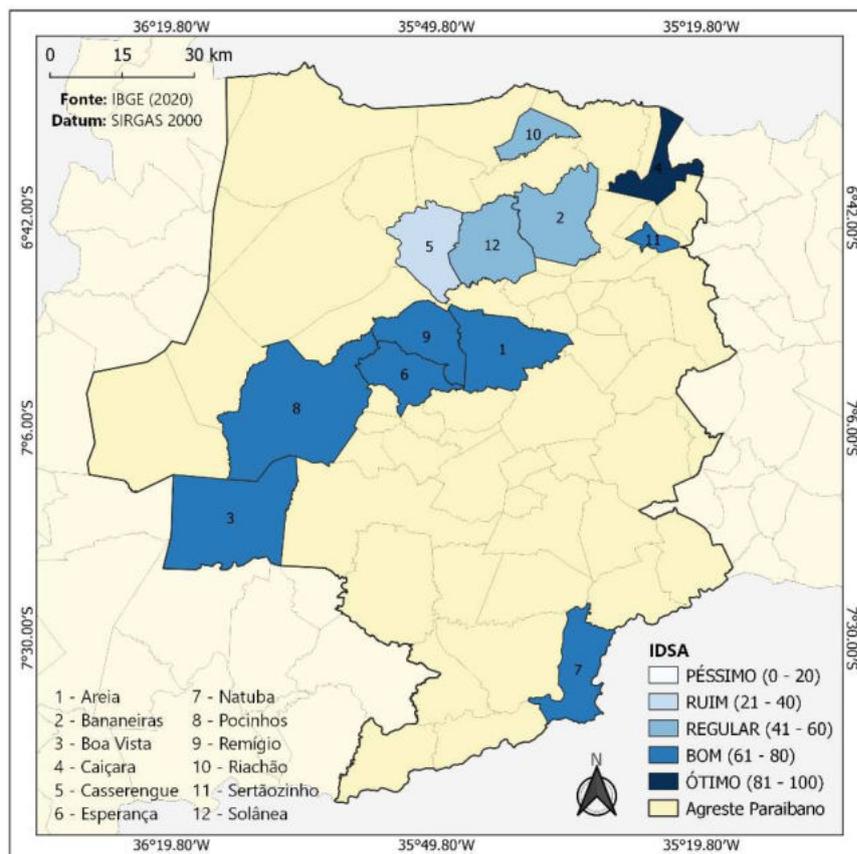
**Tabela 16:** Resultado do índice e classificação nominal (continua)

MUNICÍPIO	IDSA	CLASSIFICAÇÃO
<b>AREIA</b>	73,29	<b>Bom</b>
<b>BANANEIRAS</b>	48,91	<b>Regular</b>
<b>BOA VISTA</b>	79,50	<b>Bom</b>
<b>CAIÇARA</b>	82,27	<b>Ótimo</b>
<b>CASSERENGUE</b>	37,61	<b>Ruim</b>
<b>ESPERANÇA</b>	66,52	<b>Bom</b>
<b>NATUBA</b>	70,03	<b>Bom</b>
<b>POCINHOS</b>	69,12	<b>Bom</b>

**Tabela 16:** Resultado do índice e classificação nominal (conclusão)

MUNICÍPIO	IDSA	CLASSIFICAÇÃO
REMÍGIO	71,47	Bom
RIACHÃO	56,01	Regular
SERTÃOZINHO	70,08	Bom
SOLÂNEA	55,89	Regular

Fonte: A autora (2021).

**Figura 11:** Mapeamento do índice e classificação nominal

Fonte: A autora (2021).

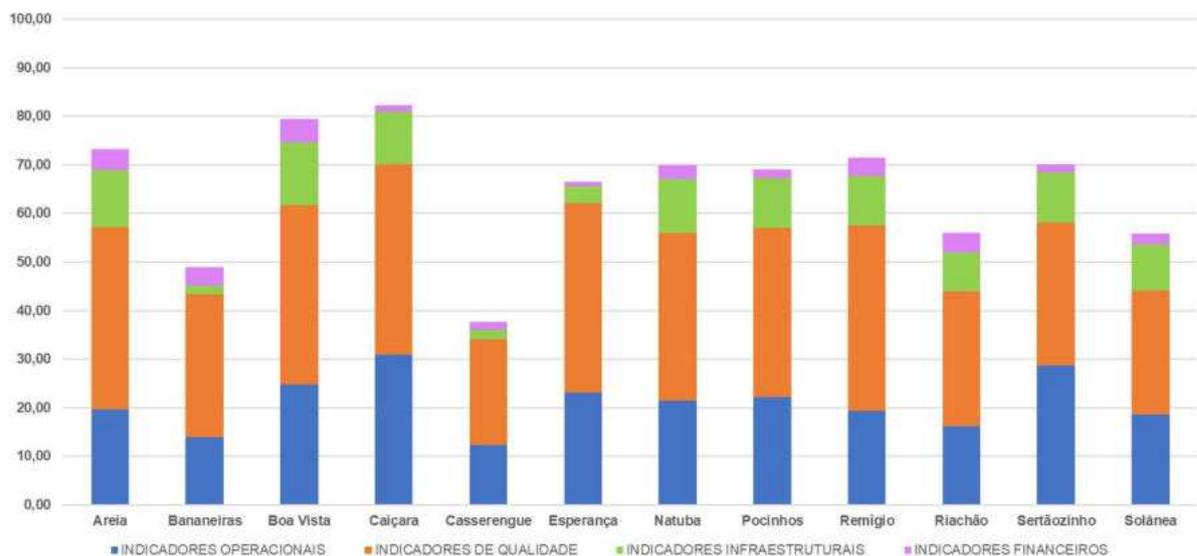
A classificação do índice permite uma avaliação geral do desempenho do serviço de abastecimento prestado aos doze municípios do Agreste paraibano. Os resultados encontrados para o IDSA foram satisfatórios, em que a maioria dos municípios foi classificado com um bom desempenho.

Analisando os resultados do índice dentro das faixas apresentadas na Tabela 4, conclui-se que o índice de desempenho do serviço de abastecimento de água pode ser classificado como 'BOM' para sete municípios (Areia, Boa Vista, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio e Sertãozinho), 'REGULAR' para três municípios

(Bananeiras, Riachão e Solânea), 'RUIM' para um município (Casserengue) e 'ÓTIMO' para um município (Caiçara).

Este resultado, em geral satisfatório, está fortemente ligado aos indicadores de qualidade e operacionais, visto que apresentaram bons resultados para a quase totalidade dos municípios, como pode ser observado no gráfico da Figura 12, que apresenta a influência de cada categoria no índice geral por município. Apesar de alguns indicadores apresentarem resultados insatisfatórios isoladamente, na ocasião da análise conjunta e considerando os bons resultados na maioria dos indicadores de qualidade e operacionais - que correspondem também aos de maior peso - o índice geral aumentou.

**Figura 12:** Gráfico da influência de cada categoria no índice geral por município



Fonte: A autora (2021).

Sabe-se que municípios de pequeno porte em geral possuem deficiências na prestação do serviço de abastecimento de água, em especial quando localizados em regiões com irregularidade no período de chuvas e com rios temporários, que secam em longos períodos de estiagem, como é o caso dos municípios do presente estudo.

Também é importante considerar que esta classificação fica condicionada aos indicadores propostos na presente pesquisa e à base de dados dessas informações. Caso sejam acrescentados ou retirados indicadores, o índice poderá sofrer modificações de valor, o que pode alterar sua classificação final.

Portanto, para que os resultados fossem ainda mais característicos, poderiam ser agregadas informações de outros indicadores e informações coletadas no próprio município através de entrevistas à população. No entanto, considerando o presente estado de pandemia do COVID-19, declarada pela OMS, e considerando as medidas restritivas de circulação e aglomeração de pessoas implementadas nas esferas municipais, não foi possível coletar informações dos usuários do serviço em cada município. Tal acréscimo enriqueceria a pesquisa e estaria condicionado também a avaliação e percepção da população, o que traria maior fidedignidade aos resultados.

Os prestadores de serviço também fornecem dados sobre a quantidade de reclamações ou solicitações de serviços referentes aos sistemas de abastecimento de água, no entanto, o tratamento dessas informações pelos prestadores de serviço ainda encontra barreiras diante da dificuldade em consolidar uma rotina padronizada para a obtenção e a sistematização das informações, principalmente aquelas relativas às paralizações e intermitências dos sistemas de água (SNIS, 2019).

## **6 CONCLUSÕES**

Com este trabalho, conclui-se que o uso de indicadores com o objetivo de avaliar o desempenho de sistemas de abastecimento de água se constitui um instrumento com potencialidades inquestionáveis, trazendo informações infraestruturais, operacionais, qualitativas e econômico-financeiras, que podem auxiliar os gestores na tomada de decisões.

Nesse sentido, a pesquisa buscou reforçar a importância de tais indicadores, bem como realizar uma análise dos valores para avaliar o desempenho do sistema de abastecimento de água de 12 municípios de pequeno porte do Agreste paraibano.

A normalização e mapeamento dos valores apresentados pelo SNIS viabilizou uma avaliação individual de cada indicador e uma comparação entre os municípios. Esta análise possibilitou a identificação de deficiências no abastecimento de cada município, por indicador.

Foi notável a influência dos indicadores de qualidade no índice final, correspondendo a mais de 40,1% do valor total do índice, bem como dos indicadores operacionais, correspondendo a 39,4%. Os indicadores de infraestrutura, também

apresentaram certa importância, correspondendo a aproximadamente 15%. Por outro lado, os indicadores econômico-financeiros não tiveram grande relevância para a classificação final do índice, correspondendo a menos de 7% deste. Este cenário é resultado do julgamento realizado pelos especialistas.

Merecem destaque os índices de desempenho apresentados pelos municípios de Caiçara e Casserengue. O primeiro mostrou o melhor resultado do índice (82,27) que corresponde a uma classificação ótima. Por outro lado, o município de Casserengue apresentou o valor mais insatisfatório (37,61), sendo classificado como 'RUIM'. Os municípios de Areia, Boa Vista, Esperança, Natuba, Pocinhos, Remígio e Sertãozinho obtiveram um desempenho 'BOM', e Bananeiras, Riachão e Solânea são classificados como 'REGULAR'.

Os resultados obtidos e a metodologia empregada foram satisfatórios, pois retrataram os principais problemas enfrentados pelos municípios, tornando facilitada a tomada de decisão por parte dos gestores quanto a prioridades, ampliações e melhorias do serviço.

Saliente-se ainda que os resultados apresentados não são uma avaliação definitiva do serviço de abastecimento de água para estes municípios, visto que por serem informações dos prestadores de serviço da rede geral (neste caso, a CAGEPA), não abrangem a zona rural, que preponderantemente possui sistemas de abastecimento alternativos, sejam de uso coletivo ou individual, e que não são monitorados. Esta pesquisa teve, portanto, um caráter exploratório e avaliativo por meio dos indicadores selecionados.

Por fim, recomenda-se que para futuras pesquisas sejam agregados mais indicadores, com o fim de retratar mais fielmente o sistema. Adicionalmente, sugere-se que sejam elaborados indicadores de satisfação da população beneficiária do serviço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAR. Associação Brasileira de Agências de Regulação. Quem somos. Disponível em: <<http://abar.org.br/quem-somos/>>. Acesso em 5 de novembro de 2020.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica CTSan-Abar 01/2014** – Informações e indicadores de água e de esgoto no contexto regulatório. Belo Horizonte, 2014.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Tradução de Patrícia Duarte, Helena Alegre e Jaime Melo Baptista. Lisboa: IWA Publishing, 2004. (Série de Guias Técnicos, 1).

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>>. Acesso em 28 de abril de 2020.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas do Brasil*. Brasília, DF, 2007. 123p. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>>. Acesso em 11 de maio de 2020.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas (Brasil). Lista de termos para o thesaurus de recursos hídricos da agência nacional de águas. Brasília, 2015. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300\\_Portaria\\_149-2015.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf)>. Acesso em 27 de abril de 2020.

ASSEMBLEIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS. O direito humano à água e ao saneamento. Genebra: AGNU; 2010. Resolução A/RES/64/292.

BARTRAM, J.; CORRALES, L.; DAVISON, A.; DEERE, D.; DRURY, D.; GORDON, B.; HOWARD, G.; RINEHOLD, A.; STEVENS, M. **Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking water suppliers**. World Health Organization. Geneva, 101p., 2009.

BEZERRA, S. T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. Avaliação do desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambient. Constr.**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 249-258, Set. 2019. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212019000300249&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000300249&tlng=pt)>. Acesso em 22 de abril de 2020.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)> Acesso em 22 de abril de 2020.

\_\_\_\_\_. LEI N° 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metr pole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#)>. Acesso em 13 de maio de 2021.

\_\_\_\_\_. Constitui o Federal de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em 25 de abril de 2020.

\_\_\_\_\_. Decreto N  5.440/2005, de 4 de maio de 2005. Estabelece defini es e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulga o de informa o ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm)>. Acesso em 26 de abril de 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria N  888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolida o GM/MS n  5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em 12 de maio de 2021.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Sistema de Informa o de Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano (Sisagua). Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano. Avalia o da Vigilância da Qualidade da água no Estado da Paraíba - Ano base 2011. Brasília, 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informa es sobre Saneamento: 25  Diagnóstico dos Serviços de água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.

CARDOSO, M. P.; SILVA, C. V.; PÁDUA, V. L. **Capta o de água de chuva em cisternas, verifica o da potencial libera o de alumínio e seu efeito sobre a**

**saúde.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 18 a 23 de setembro de 2005, Campo Grande – MS.

CARRIJO, I. B. **Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina.** São Carlos, 2004. 217p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

DARI, A. L. **Desenvolvimento de um índice de qualidade do serviço de abastecimento de água da cidade de Campina Grande – PB.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2015.

DESTANDAU, F., GARCIA, S. **Service quality, scale economies and ownership: an econometric analysis of water supply costs.** Journal of Regulatory Economics, n. 46, p. 152-182, 2014.

FERREIRA, Y. C. C. **Proposição de um índice de vulnerabilidade humana à insuficiência de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a experiência no estado da Paraíba.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2020.

FRANCATO, A. L. **Otimização Multiobjetivo para Operação de Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água, 2002.** Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

GALVÃO JÚNIOR, A. C. **Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto.** 2. Ed. / Alceu de Castro Galvão Júnior, Alexandre Caetano da Silva, Editores. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.

GANJIDOOST, A. *et al.* Benchmark Performance Indicators for Utility Water and Wastewater Pipelines Infrastructure. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n.3, p. 04018003, 2018.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para o consumo humano.* 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de Água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico.** São Paulo: junho de 2020. Disponível em: <[http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Relat%C3%B3rio\\_Final\\_-\\_Estudo\\_de\\_Perdas\\_2020\\_-\\_JUNHO\\_2020.pdf](http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Relat%C3%B3rio_Final_-_Estudo_de_Perdas_2020_-_JUNHO_2020.pdf)>. Acesso em: 17 de abril de 2021.

JUWANA, I.; MUTTIL, N.; PERERA, B. J. C. Indicator-based water sustainability – A review. *Science of the Total Environment*, v. 438, p. 357-371, Set. 2012.

LAMBERT, A; HIRNER, W. **Losses from Water Supply Systems: standard terminology and recommended performance measures.** *The Blue Pages.* International Water Association, p. 1-13, 2000. Disponível em: <

<https://waterfund.go.ke/waterresource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2021.

LOPES, W. S. **Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário para a cidade de Campina Grande – PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2015.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e Seus Efeitos sobre a Biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MEDEIROS, L. E., **Utilização de indicadores convencionais e de satisfação dos usuários para avaliação da qualidade do serviço de abastecimento de água na cidade de Campina Grande/PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

MENESES, R. A. **Diagnóstico Operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: o caso de Campina Grande.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação do Curso de Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande. 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. **Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.** Eng. sanit. Ambiente, p. 269-279, 2004.

OGATA, I. S. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

OLIVEIRA, M. L. **Desenvolvimento de Método para Avaliação de Desempenho de Sistemas de Abastecimento de Água:** Aplicação ao Caso da RIDE DF e Entorno. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTRH.DM – 180/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 235p, 2006.

OMS - Organização Mundial da Saúde; UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017.** Special focus on inequalities. Nova Iorque, 2019.

ONU. **O Direito Humano à Água e Saneamento.** 2013. Disponível em:< [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf)>. Acesso em 25 de abril de 2021.

\_\_\_\_\_. Organização Mundial da Saúde. **Domestic Water Quantity, Service Level and Health.** Document WHO/SDE/WSH/03.02. Genebra, 2003.

PÁDUA, V. L., et al. Proteção Sanitária das Cisternas Utilizadas na Reservação de Águas Pluviais para Uso Domiciliar: Aspectos Técnicos e Educacionais. 5º caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública. Brasília: Funasa, 2013. 166p.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS – PNAD. **Dados do Saneamento Básico por municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro, 2012.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). **Acompanhando a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**: subsídios iniciais do Sistema das Nações Unidas no Brasil sobre a identificação de indicadores nacionais referentes aos objetivos de desenvolvimento sustentável/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Brasília: PNUD, 2015. 250 p.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems**. New York: Pergamon Press, 1988.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, São Paulo, SP, 1991.

SAATY, T. L. **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process**. The Institute for Operations Research and the Management Sciences, Interfaces 24 (6), pg. 19-43, USA, 1994.

SANTANA, W. **Determinantes do desempenho financeiro das empresas públicas municipais prestadoras dos serviços de água e saneamento no Brasil**. Dissertação – Mestrado multiinstitucional e inter-regional em ciências contábeis do convênio UnB, UFPB, UFPE e UFRN, 2005.

SCHNEIDER, Daniele Delello. et al. **Indicadores para serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário voltados às populações vulneráveis**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais - Número 17 - Setembro/2010

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. **The hole of values and objectives in communicating indicators of sustainability**. Ecological Indicator, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.

SICHE, J. R. et al. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países**. Ambiente & Sociedade v. X, n. 2, p. 137 – 148, jul./dez. 2007.

SILVA, D. M. R. Aplicação dos método AHP para avaliação de projetos industriais. Dissertação – Meestrado pleo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2007.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2004. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2005.

\_\_\_\_\_. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/institucional>>. Acesso em 5 de novembro de 2020.

\_\_\_\_\_. Painel de informações sobre o saneamento. Disponível em: <<http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>> Acesso em: 25 de abril de 2020.

\_\_\_\_\_. Glossário de Indicadores – Água e Esgotos. Disponível em: <<http://snis.gov.br/glossarios>>. Acesso em 7 de dezembro de 2020.

\_\_\_\_\_. Glossário de Informações – Água e Esgotos. Disponível em: <<http://snis.gov.br/glossarios>>. Acesso em 7 de dezembro de 2020.

SOBRINHO, R. A., BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS.** Engenharia Sanitária e Ambiental. 2016, v. 21, n. 04. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/BhgFHQQ3TZ84xXYfgRk8Dvt/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2021.

TCESP. Tribunal de Contas do Estado de São Paulo. Manual – Novo Marco Legal do Saneamento Básico. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.tce.sp.gov.br/sites/default/files/publicacoes/Manual%20Saneamento%20B%C3%A1sico%20-%20TCESP.pdf>>. Acesso em 13 de maio de 2021.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – USP, 2006.

VERAS, L. R. V., BERNARDO, L. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FIME. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 1, 2008.

VON SPERLING, T. L. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

## **APÊNDICE**

**Apêndice A:**  
**QUESTIONÁRIO APLICADO AOS ESPECIALISTAS**

# Questionário Especialistas

## Indicadores de desempenho do sistema de abastecimento de água de municípios do agreste paraibano

**Discente:** Milena Daleth do Amaral Vieira

**Orientadora:** Professora Doutora Andréa Carla Lima Rodrigues

---

### Apresentação

Este questionário faz parte de uma etapa fundamental para o desenvolvimento de um índice para avaliação do desempenho do sistema de abastecimento de água de doze municípios de pequeno porte do agreste paraibano, e visa obter o julgamento de especialistas na área, **objetivando a atribuição de pesos, em busca das prioridades dos indicadores que serão utilizados para a construção do índice.**

Os indicadores que serão utilizados são os listados abaixo:

- Indicadores operacionais:
  - (OP<sub>1</sub>): Indicador de Hidrometração;
  - (OP<sub>2</sub>): Indicador de Macromedição;
  - (OP<sub>3</sub>): Indicador de perdas na distribuição;
  - (OP<sub>4</sub>): Indicador de consumo médio per capita de água;
  - (OP<sub>5</sub>): Indicador de consumo de energia elétrica.
  
- Indicadores de Qualidade:
  - (IQ<sub>1</sub>): Incidência das análises de cloro residual fora do padrão;
  - (IQ<sub>2</sub>): Incidência das análises de turbidez fora do padrão;
  - (IQ<sub>3</sub>): Incidência das análises de coliformes totais fora do padrão;
  
- Indicadores Infraestruturais:
  - (II<sub>1</sub>): Extensão da rede de água;

- (II<sub>2</sub>): Indicador de cobertura da rede.
- Indicadores Financeiros:
  - (IF<sub>1</sub>): Tarifa média de água;
  - (IF<sub>2</sub>): Indicador de produtividade - empregados próprios por 1000 ligações de água

## Orientações e Explicação do Método

Esse julgamento em relação aos indicadores se dará através da construção de uma matriz quadrada de comparação, de forma que todos os indicadores sejam comparados entre si, par a par, seguindo a proposta do método AHP (Analytic Hierarchy Process), utilizando a escala de Saaty.

Para se fazer o bom uso da escala de prioridades, entretanto, é preciso compreender o que são os julgamentos no método criado por Saaty. Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos, que neste caso são os indicadores. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado em uma matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha de topo (Saaty, 1994).

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada na Tabela 1, vai de 1 a 9, com **1** significando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e **9** significando a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses níveis de 1 a 9. Além disso, desconsiderando as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados (SILVA, 2007).

Reitera-se que o objetivo final dessa comparação é **atribuir pesos aos indicadores que serão utilizados para a construção do índice, que classifica o desempenho do sistema de abastecimento de água de municípios do Agreste paraibano.**

**Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty**

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro.
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados.

Fonte: Adaptado de Saaty, 1980

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito ao objetivo? E com que intensidade, utilizando a escala de 1-9?

É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento-linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz (SILVA, 2007).

A Tabela 2 apresenta um exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP. Todos os pesos foram atribuídos de forma arbitrária, bem como suas justificativas, apenas para exemplificação quanto ao preenchimento.

**Os pesos da diagonal (células em cinza) serão sempre 1**, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela 1, que apresenta a escala de comparações empregadas no método. **Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior**

esquerda da matriz (células em vermelho), colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma (SILVA, 2007).

**Tabela 2 - Matriz de julgamentos (exemplo)**

	IQ <sub>1</sub>	IQ <sub>2</sub>	OP <sub>1</sub>
IQ <sub>1</sub>	1	3	1/5
IQ <sub>2</sub>	1/3	1	2
OP <sub>1</sub>	5	1/2	1

No exemplo, temos a atribuição do peso **3** para o julgamento do par de indicadores IQ<sub>1</sub> e IQ<sub>2</sub>, com a justificativa de que o indicador de “Incidência das análises de cloro residual fora do padrão” (IQ<sub>1</sub> - linha) é um critério um pouco mais importante que o “Incidência das análises de turbidez fora do padrão” (IQ<sub>2</sub> - coluna) para o índice de desempenho do sistema de abastecimento de água. Nesta situação, o elemento-linha é dominante ao elemento-coluna.

O peso **1/5** foi atribuído entre os indicadores “Incidência das análises de cloro residual fora do padrão (IQ<sub>1</sub>)” e “Indicador de Hidrometração” (OP<sub>1</sub>), pois julgou-se que o indicador de qualidade OP<sub>1</sub>-coluna é um critério muito mais importante para avaliação do desempenho de abastecimento de água que o indicador de operação IQ<sub>1</sub>-linha. Neste caso, o elemento-coluna é dominante ao elemento-linha. Em todos os casos que se julgar que o elemento coluna é dominante sobre o elemento linha, o resultado deve ser apresentado como razão de  $1/\textit{peso atribuído}$ , assim como no exemplo em questão.

A matriz que deverá ser preenchida está aqui representada em forma de tabela (Tabela 3), devido a facilidade de preenchimento.

**Tabela 3 - Matriz de julgamentos**

	OP <sub>1</sub>	OP <sub>2</sub>	OP <sub>3</sub>	OP <sub>4</sub>	OP <sub>5</sub>	IQ <sub>1</sub>	IQ <sub>2</sub>	IQ <sub>3</sub>	II <sub>1</sub>	II <sub>2</sub>	IF <sub>1</sub>	IF <sub>2</sub>
OP <sub>1</sub>	1											
OP <sub>2</sub>		1										
OP <sub>3</sub>			1									
OP <sub>4</sub>				1								
OP <sub>5</sub>					1							
IQ <sub>1</sub>						1						
IQ <sub>2</sub>							1					
IQ <sub>3</sub>								1				
II <sub>1</sub>									1			
II <sub>2</sub>										1		
IF <sub>1</sub>											1	
IF <sub>2</sub>												1

## Identificação

NOME	
INSTITUIÇÃO	