PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ROSEMEIRE DINIZ PEREIRA ANDRADE

TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO INOVADORAS PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE A PARTIR DE ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS QUE ATUAM NA ÁREA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CAMPINAS

2026

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA DE ECONOMIA E NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM SUSTENTABILIDADE

ROSEMEIRE DINIZ PEREIRA ANDRADE

TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO INOVADORAS PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE A PARTIR DE ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS QUE ATUAM NA ÁREA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Dissertação apresentada com o propósito de obter o título de mestre no curso de Mestrado em Sustentabilidade, junto ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade da Escola de Economia e Negócios da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

Coorientador: Prof. Dr. Duarcides Ferreira Mariosa

CAMPINAS
2026

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Diniz Pereira Andrade, Rosemeire

A553t

Tecnologias da Informação e Comunicação inovadoras para o monitoramento da segurança hídrica : análise a partir de entrevistas com especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos / Rosemeire Diniz Pereira Andrade. - Campinas: PUC-Campinas, 2026.

112 f.

Orientador: Orandi Mina Falsarella. Coorientador: Duarcides Ferreira Mariosa

Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade, Escola de Economia e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Inteligência Artificial. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Disponibilidade Hídrica.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ESCOLA DE ECONOMIA E NEGÓCIOS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM SUSTENTABILIDADE

ROSEMEIRE DINIZ PEREIRA ANDRADE

TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO INOVADORAS PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA: ANÁLISE A PARTIR DE ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS QUE ATUAM NA ÁREA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado em Sustentabilidade da PUC-Campinas, e aprovada pela Banca Examinadora.

APROVADO: **05 de outubro de 2026**

Documento assinado digitalmente
gov.br ORANDI MINA FALSARELLA
Data: 13/10/2026 10:49:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella
(Orientadora - PUC-CAMPINAS)

Prof.ª Dr.ª Bruna Angela Branchi
(PUC - CAMPINAS)

Documento assinado digitalmente
gov.br CRISTIANO CAPELLANI QUARESMA
Data: 13/10/2026 10:59:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Cristiano Capellani Quaresma
(UNINOVE)

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo, Rodrigo Alves Andrade pelo amor, companheirismo, paciência e incentivo incondicional. Obrigada por acreditar em mim, compreender minhas ausências, dividir comigo os desafios deste percurso e estar ao meu lado em todos os momentos. Aos meus filhos, que são a minha maior inspiração e a razão pela qual busco ser uma pessoa e uma profissional melhor a cada dia. Que este trabalho seja um exemplo de que a dedicação, o esforço e a persistência tornam os sonhos possíveis. Por fim, dedico este trabalho à minha família, que sempre foi meu porto seguro, minha fonte de amor, força e motivação. Sem o apoio de vocês, este sonho não teria se tornado realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho, fortalecer minha fé e me conceder sabedoria e perseverança para vencer cada desafio desta jornada.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) nº 2024/13012-1 pelo apoio e financiamento que tornaram este trabalho possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella, minha mais sincera gratidão pela orientação segura, pelo conhecimento compartilhado, pela confiança, pela paciência e pelas valiosas contribuições ao longo de toda a pesquisa, sua dedicação e incentivo foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Duarcides Ferreira Mariosa, expresso minha especial gratidão por ter sido a primeira pessoa a acreditar em meu potencial e a me incentivar a ingressar no mestrado. Suas palavras de confiança e encorajamento foram decisivas para que eu aceitasse esse desafio e desse início a esta importante jornada acadêmica.

Às professoras do curso de Biblioteconomia, que despertaram em mim o desejo de continuar minha formação acadêmica e acreditaram no meu potencial. Registro um agradecimento muito especial à Prof.ª Dra. Cleonice Aparecida de Souza, cujo incentivo acolhimento e exemplo profissional foram determinantes para que eu tivesse coragem de iniciar esta nova etapa da minha vida acadêmica.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), pela excelência na formação oferecida, pelo compromisso com a produção científica e pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa em um ambiente de aprendizado, ética e inovação.

À minha querida amiga Sabrina Louzada, agradeço pela amizade sincera, pelo apoio constante, pelas palavras de incentivo e por estar presente nos momentos mais desafiadores desta caminhada, sua confiança, carinho e motivação foram fundamentais.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte desta trajetória, oferecendo apoio, incentivo e compartilhando conhecimentos. Esta dissertação representa muito mais do que a conclusão de um curso de mestrado, ela simboliza a realização de um sonho construído com dedicação, perseverança e sobretudo, com o apoio das pessoas que estiveram ao meu lado em cada etapa dessa caminhada.

RESUMO

Atualmente em função das mudanças climáticas temos vivenciado crises hídricas cada vez mais constantes, causando prejuízos incalculáveis. Nesse contexto, há impactos na segurança hídrica, uma vez que há dificuldade de garantir água em quantidade e qualidade para os seres vivos e para que pessoas e empresas possam desenvolver suas atividades produtivas. Assim, o monitoramento da segurança hídrica torna-se essencial para apoiar a gestão dos recursos hídricos, e as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) destacam-se como importantes ferramentas para a coleta, integração e análise de informações. Esta pesquisa, de caráter interdisciplinar, desenvolvida em parceria com a Agência das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), teve como objetivo conhecer a percepção de especialistas que atuam na área de segurança hídrica sobre a aplicabilidade, as potencialidades e as limitações do uso das TICs para o monitoramento da segurança hídrica a partir do uso de indicadores. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa. Os dados foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental e de entrevistas semiestruturadas realizadas com 33 especialistas de diferentes instituições que atuam na gestão de recursos hídricos. Os resultados evidenciaram que os especialistas reconhecem as TICs como ferramentas essenciais para o monitoramento da segurança hídrica, destacando a Inteligência Artificial (IA), o Sensoriamento Remoto (SR), a Internet das Coisas (IoT), o Big Data e os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). Essas tecnologias permitem o monitoramento em tempo real, a integração de dados e o apoio à tomada de decisão. Entretanto, sua efetividade depende da disponibilidade de dados confiáveis, da infraestrutura tecnológica, da capacitação dos profissionais e da integração entre as instituições. Conclui-se que as TICs possuem elevado potencial para fortalecer o monitoramento da segurança hídrica e contribuir para uma gestão dos recursos hídricos mais eficiente, integrada e sustentável, desde que utilizadas de forma articulada com indicadores, dados confiáveis e políticas públicas voltadas ao fortalecimento da governança da água.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Sensoriamento Remoto; Indicadores; Big Data; Disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

Due to climate change, we are currently experiencing increasingly frequent water crises, resulting in incalculable losses. This situation impacts water security, as it becomes difficult to guarantee water of sufficient quantity and quality for living beings and for individuals and businesses to carry out their productive activities. Consequently, monitoring water security is essential for supporting water resource management, and Information and Communication Technologies (ICTs) stand out as key tools for data collection, integration, and analysis. This interdisciplinary study, conducted in partnership with the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí (PCJ) River Basin Agency, aimed to understand the perceptions of water security specialists regarding the applicability, potential, and limitations of using ICTs based on specific indicators to monitor water security. The research is classified as applied, exploratory, and descriptive, employing both qualitative and quantitative approaches. Data were gathered through bibliographic and documentary research, as well as semi-structured interviews with 33 specialists from various institutions involved in water resource management. The results revealed that specialists recognize ICTs as essential tools for monitoring water security, highlighting Artificial Intelligence (AI), Remote Sensing (RS), the Internet of Things (IoT), Big Data, and Decision Support Systems (DSS). These technologies enable real-time monitoring, data integration, and support for decision-making. However, their effectiveness depends on the availability of reliable data, technological infrastructure, professional training, and inter-institutional integration. It is concluded that ICTs hold significant potential to strengthen water security monitoring and contribute to more efficient, integrated, and sustainable water resource management, provided they are used in conjunction with indicators, reliable data, and public policies aimed at strengthening water governance.

Keywords: Artificial Intelligence; Remote Sensing; Indicators; Big Data; Water availability.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - DIMENSÕES DE BIG DATA 31
QUADRO 2 - CRITÉRIOS DE BUSCA 37
QUADRO 3 - COMPARAÇÕES ENTRE TIPOS DE ENTREVISTAS 41
QUADRO 4 - ETAPAS METODOLÓGICAS PARA A REALIZAÇÃO DAS ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS 42
QUADRO 5 - CONVITE AOS ESPECIALISTAS PARA PARTICIPAÇÃO NAS ENTREVISTAS 45
QUADRO 6 - PERFIL DOS PARTICIPANTES 48
QUADRO 7 - PROJETOS E PROGRAMAS CITADOS PELOS ESPECIALISTAS 58
QUADRO 8 - SÍNTESE INTERPRETATIVA DAS PERCEPÇÕES DOS ESPECIALISTAS SOBRE SEGURANÇA HÍDRICA 60
QUADRO 9 - SÍNTESE INTERPRETATIVA GERAL DOS RESULTADOS REFERENTE A SEGURANÇA HÍDRICA. 62
QUADRO 10 - PERCEPÇÕES DOS ESPECIALISTAS SOBRE A SITUAÇÃO ATUAL 63
QUADRO 11 - AÇÕES QUE PODEM MELHORAR A SEGURANÇA HÍDRICA 63
QUADRO 12 - EVENTOS QUE IMPACTARAM A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS 66
QUADRO 13 - TECNOLOGIAS IDENTIFICADAS NAS ENTREVISTAS E ANÁLISE DAS PERCEPÇÕES DOS ESPECIALISTAS. 74
QUADRO 14 - TICS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA 76
QUADRO 15 - PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS TICS 79
QUADRO 16 - TICS UTILIZADAS NO AMBIENTE DO TRABALHO 82
QUADRO 17 - SÍNTESE DOS INDICADORES APRESENTADOS PELOS ESPECIALISTAS 85
QUADRO 18 - SÍNTESE DOS INDICADORES COM POTENCIAL PARA MELHORAR O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA 86
QUADRO 19 - DIFICULDADES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS INDICADORES 88
QUADRO 20 - SÍNTESE DOS INDICADORES UTILIZADOS 89
QUADRO 21 - INDICADORES UTILIZADOS PELOS ESPECIALISTAS EM SUAS ATIVIDADES PROFISSIONAIS 90
QUADRO 22 - SÍNTESE DAS PRINCIPAIS INOVAÇÕES 92
QUADRO 23 - PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES MENCIONADAS PELOS ESPECIALISTAS 94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - INSTITUIÇÕES VINCULADAS 52
FIGURA 2 - TIPO DE INSTITUIÇÕES 52
FIGURA 3 - CARGO DE ATUAÇÃO (%) 53
FIGURA 4 - FORMAÇÕES ACADÊMICAS POR ÁREAS DO CONHECIMENTO 54
FIGURA 5 - TEMPO DE ATUAÇÃO (%) 56
FIGURA 6 - PRINCIPAIS REGIÕES E BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ATUAÇÃO 57
FIGURA 7 - EVENTOS RECENTES 64
FIGURA 8 - EVENTOS QUE AFETARAM A REGIÃO DE ATUAÇÃO DOS ESPECIALISTAS 65
FIGURA 9 - MAIORES DESAFIOS 67
FIGURA 10 - MAIORES DESAFIOS PARA A SEGURANÇA HÍDRICA 68
FIGURA 11 - DESAFIOS PARTICULARES 70
FIGURA 12 - USO DAS TECNOLOGIAS INOVADORAS 71
FIGURA 13 - PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DAS TICS PARA MELHORAR A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E SEGURANÇA HÍDRICA. 72
FIGURA 14 - NÍVEL DE CONHECIMENTO DOS ESPECIALISTAS SOBRE AS TECNOLOGIAS 75
FIGURA 15 - POTENCIAL DAS TICS PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA 78
FIGURA 16 - PRINCIPAIS DIFICULDADES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DAS TICS NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. 81
FIGURA 17 - FLUXO INTEGRADO E SISTEMATIZADO DE UTILIZAÇÃO DAS TICS 84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB PCJ - Agência das Bacias Piracicaba, Capivari e Jundiaí

AEAAV – Associação de Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de Valinho

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

ANA - Agência Nacional de Águas

BHSF - Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CBH-BIG - Comitê Bacia Hidrográfica da Baía da Ilha Grande

CBH PCJ - Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

CBH-SMT - Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê

CBH-TG - Comitê das Bacias Hidrográficas Turvo Grande

CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CEP/PUC-Campinas - Comitê de Ética em pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Campinas

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIESP DR-CAMPINAS - Diretoria Regional do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo

C PCJ - Consórcio Piracicaba, Capivari e Jundiaí

CONCYTEC – Conselho Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

DAE Jundiai - Departamento de Água e Esgoto

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

IA - Inteligência Artificial

IAP - Índice de Qualidade das Águas para Abastecimento

ICE - Índice de Conformidade do enquadramento

IET - Índice de Estado Trófico

IoT - Internet of Things

IQA - Índice de Qualidade da Água

ISH - Índice de Segurança Hídrica

IVA - Índice de Vida Aquática

MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional

OD - Oxigênio Dissolvido

OECD - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico

ONU - Organização das Nações Unidas

PCJ - Piracicaba, Capivari e Jundiaí

PEIXE VIVO - Agência de bacia hidrográfica

PMSB Campinas - Plano Municipal de Saneamento Básico

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RFID - Radio Frequency Identification

RSSF - Redes de Sensores sem Fio

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAD - Sistema de Apoio à Decisão

SANASA - Sociedade de Abastecimento de água e saneamento S/A

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

SCIELO - Scientific Electronic Library Online

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

SGB - Serviço Geológico Brasileiro

SI - Sistemas de Informação

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIMEPAR - Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná

SP ÁGUAS - Agência de Águas do Estado de São Paulo

SPI - Índice Padronizado de Precipitação

SR - Sensoriamento Remoto

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TICs - Tecnologias da Informação e Comunicação

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNIPS - Instituto Politécnico de Setúbal

WSN - Wireless Sensor Network

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

1.1 Contextualização do problema 15

1.2 Objetivos do trabalho 17

1.3 Justificativa 18

1.4 Estrutura do trabalho 19

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 21

2.1 Gestão de Recursos Hídricos 21

2.2 Segurança Hídrica 23

2.3 Indicadores de segurança hídrica 26

2.4 Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) 27

2.4.1 Internet das Coisas (IoT) 28

2.4.2 Big Data 30

2.4.3 Inteligência Artificial (IA) 31

2.4.4 Sensoriamento Remoto (SR) 33

3 METODOLOGIA DA PESQUISA 36

3.1 Abordagem metodológica 36

3.2 Técnicas de estruturação de entrevistas 37

3.3 Realização de entrevistas semiestruturadas 42

3.3.1 Etapa 1 - Elaboração e testagem do roteiro de entrevistas 43

3.3.2 Etapa 2 - Contato inicial com os participantes 44

3.3.3 Etapa 3 - Realização das entrevistas 45

3.3.4 Etapa 4 - Transcrição das entrevistas 46

3.3.5 Etapa 5 - Análise dos dados 46

3.3.6 Etapa 6 - Apresentação dos resultados 48

3.4 Descrição e Caracterização dos Participantes da Pesquisa 48

4 PERCEPÇÃO DE ESPECIALISTAS SOBRE O USO DE TIC PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA 50

4.1 Identificação dos participantes 51

4.2 Experiência profissional 55

4.3 Contexto geral da segurança hídrica 59
4.4 Tecnologias inovadoras (TICs) 73
4.5 Indicadores de segurança hídrica 85
4.6 Perspectivas futuras e comentários finais 92
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS 97
Apêndice 1 – Roteiro de entrevistas semiestruturado 109

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A água representa um recurso essencial à vida, desempenhando papel fundamental na produção de alimentos, na promoção da higiene e na manutenção da saúde pública. Além disso, é insubstituível para diversas atividades econômicas, como a agricultura, a indústria e a geração de energia. A gestão eficiente dos recursos hídricos é portanto, imperativa para o desenvolvimento sustentável e para assegurar sua disponibilidade às gerações futuras. Nesse contexto, garantir o acesso à água potável representa um dos pilares da qualidade de vida e da sustentabilidade socioeconômica.

O aumento significativo da renda das populações tem proporcionado melhorias nas condições de vida, o que, por sua vez, acarreta um crescimento expressivo no consumo de água. Paralelamente, o crescimento demográfico natural intensifica a demanda por recursos hídricos e alimentares, ampliando os desafios relacionados à sua gestão.

Apesar da relevância incontestável da água para a sobrevivência humana e de outros organismos vivos, bem como para o funcionamento das cadeias produtivas, o ciclo hidrológico tem sido impactado por diversas interferências antrópicas e naturais. Tais interferências comprometem tanto a qualidade quanto a quantidade de água disponível em determinadas regiões e para grupos populacionais específicos (Trindade et al., 2017).

Além do uso excessivo, um perigo adicional decorre nas mudanças climáticas e de seus efeitos mais impactantes, resultando em períodos de excesso de precipitação em certas regiões e escassez hídrica em outras. Segundo Dias (2014), eventos hídricos extremos têm assim, de forma recorrente alterado o modo como a água é ofertada e distribuída aos seus consumidores.

De acordo com Fechine e Galvíncio (2014), a água é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento da região e por isso a segurança hídrica é uma das principais preocupações, sendo necessário priorizar ações de infraestrutura hídrica, de melhoria da produção familiar, de construção e recuperação de açudes, barragens e cisternas.

A Organização das Nações Unidas (ONU) define a segurança hídrica como acesso sustentável a água em quantidade e qualidade adequada, visando assegurar o bem-estar da população, o progresso socioeconômico e a conservação dos ecossistemas, em um ambiente de paz e estabilidade política, ademais envolve a proteção contra a poluição e outros desastres relacionados à água (UN-Water, 2013).

A segurança hídrica pode ser compreendida como a condição na qual um determinado espaço territorial haverá a quantidade adequada de água, com qualidade, volume e continuidade suficiente para a preservação da vida ali existente em essencial a humana (Gleick; Iceland, 2018).

Por essa razão Britto (2016), afirma para se ter segurança hídrica requer a implementação de serviços que assegurem o direito humano à água, sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas, visando a universalização do acesso.

Segundo Van Beek e Arriens (2014), a segurança hídrica também está relacionada com a mitigação de riscos. Ou seja, a gestão dos recursos hídricos deve contemplar, em primeiro lugar, a avaliação do nível de segurança hídrica, bem como dos serviços responsáveis pela captação, tratamento, armazenamento e distribuição da água tratada aos usuários. Em segundo lugar, arbitrar conflitos em torno dos recursos hídricos compartilhados, principalmente em áreas transfronteiriças, locais que envolvem divisões geográficas e territoriais entre cidades, unidades federativas dentro de um mesmo país ou entre países distintos (Zucco; Costa, 2013).

Essa complexidade territorial torna o processo de gestão da água ainda mais desafiador, juntamente com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), descrita na Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997a), que normatiza a gestão de recursos hídricos no Brasil. Esta lei descreve os fundamentos, princípios, instrumentos de gestão e um arranjo da governança instituída. Com isso, existem três principais objetivos que ela busca cumprir: garantir a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para a atual e futuras gerações; assegurar a utilização coerente e integra da água; e proporcionar defesa adequada contra eventos hidrológicos críticos, oriundos de uso impróprio dos recursos naturais.

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), existem cinco instrumentos de gestão de recursos hídricos que são: cobrança pelo uso dos recursos hídricos; plano de recursos hídricos; outorga de direito de uso dos recursos hídricos; classe de enquadramento do corpo d'água; e um sistema de informação estruturado e atualizado (Brasil, 1997b).

Desta forma aprimorar o processo de gestão é fundamental, particularmente se puder contar com o desenvolvimento e o acompanhamento de ferramentas de monitoramento hidrológico que subsidiam a tomada de decisão de forma mais rápida e precisa (Falsarella; Silva; Mariosa, 2022).

Nesse sentido, a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) para auxiliar na coleta de dados no espaço territorial das bacias hidrográficas, no cálculo de

indicadores e na análise de informações relacionadas à segurança hídrica se mostra bastante promissora.

Para apoiar a gestão pública e sustentável dos recursos hídricos, delineada nas ações estabelecidas em planos de bacias, como é o caso do Plano das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) (Comitês, 2020), conforme previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.433/1997, o Comitê das Bacias Hidrográficas PCJ (CBH-PCJ), a Agência das Bacias PCJ e o Consórcio PCJ buscam, efetivamente identificar Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) que possam contribuir para o monitoramento da segurança hídrica, como por exemplo aplicações que utilizam Internet das Coisas, do inglês Internet of Things (IoT), Inteligência Artificial (IA), Sensoriamento Remoto (SR) e aplicação de Big Data.

Assim, sugere-se neste projeto de pesquisa, consultar um grupo de especialistas e com a contribuição e percepção de cada um individualmente, verificar a aplicabilidade, potencialidade e limitações do uso de TICs para o monitoramento da segurança hídrica a partir de uso de indicadores.

Portanto, com base nos resultados obtidos em pesquisa bibliográfica e revisão sistemática da literatura realizada pelo Projeto FAPESP de Políticas Públicas denominado Bacias hidrográficas inteligentes: tecnologias inovadoras para o monitoramento da segurança hídrica das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí no Estado de São Paulo, nº 2023/10091-5, que apontou as principais tecnologias inovadoras aplicadas à gestão de recursos hídricos, especialmente a segurança hídrica, pergunta-se quais são as percepções de especialistas que atuam diretamente na área de gestão de recursos hídricos sobre a aplicabilidade, potencialidade, limitações do uso de TICs para o monitoramento da segurança hídrica a partir de indicadores ?

Entende-se por tecnologias inovadoras as TIC que podem ser utilizadas para coleta de dados, análises e predições que em seu uso conjunto podem maximizar o processo decisório a partir do monitoramento da segurança hídrica.

1.2 Objetivos do trabalho

Assim, o objetivo principal deste projeto de pesquisa é analisar a percepção de especialistas que atuam e pesquisam na área de segurança hídrica sobre a aplicabilidade,

potencialidade e limitações de uso de TICs para o monitoramento da segurança hídrica a partir do uso de indicadores.

Para esse projeto de pesquisa os objetivos específicos são:

1. Analisar a partir da consulta de uma revisão sistemática da literatura as principais TICs e indicadores utilizados para monitorar a segurança hídrica;
2. Construir um roteiro de entrevistas, a partir da revisão sistemática da literatura, a ser aplicado a especialistas que atuam e pesquisam na área de gestão de recursos hídricos ;
3. Investigar por meio de entrevistas a percepção de especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos o conhecimento que possuem sobre a aplicabilidade de indicadores e TICs inovadoras para monitorar a segurança hídrica;
4. Realizar a análise dos dados coletados junto aos especialistas do uso de TICs para o monitoramento da segurança hídrica a partir do uso de indicadores.

1.3 Justificativa

Nesse cenário, a importância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de identificar, por meio da percepção de especialistas, a aplicabilidade, potencialidade e limitações das TICs já existente e empregadas no monitoramento e na gestão das bacias hidrográficas, especialmente das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), região que abriga importantes centros urbanos e atividades produtivas. A implementação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) para acompanhar indicadores de segurança hídrica surge como uma oportunidade estratégica para otimizar a tomada de decisões, ampliar a capacidade de resposta a eventos extremos e promover uma governança da água mais participativa e sustentável.

Acrescenta-se ainda que apesar de existirem muitos trabalhos científicos que apresentam TIC que auxiliam no monitoramento da segurança hídrica, é importante avaliar junto aos especialistas o que pode ser acrescentado para melhorar esse processo.

Os resultados obtidos poderão servir como base para a formulação de políticas públicas, o planejamento estratégico nos planos de bacia e o fortalecimento institucional de comitês e órgãos gestores. Entre os beneficiários diretos estão gestores públicos, integrantes dos comitês

de bacias hidrográficas, técnicos de agências reguladoras, pesquisadores, instituições educacionais e comunidades locais que dependem do acesso regular à água potável.

Considerando os desafios impostos pela atual crise climática e hídrica, os achados desta pesquisa também poderão ser aplicados em outras regiões do Brasil e até mesmo em contextos internacionais que enfrentam dificuldades semelhantes.

1.4 Estrutura do trabalho

No capítulo 1, na introdução foi apresentada a contextualização do problema, o objetivo geral e os objetivos específicos, as justificativas e a estrutura do trabalho da dissertação, descrevendo brevemente o conteúdo de cada capítulo subsequente.

No capítulo 2, apresenta a fundamentação teórica abordando os principais temas relacionados ao estudo. São analisados os conceitos e as características da Gestão de Recursos Hídricos e Segurança Hídrica, além do papel das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), explorando as inovações associadas à Internet das Coisas (IoT), Big Data, Sensoriamento Remoto (SR) e Inteligência Artificial (IA).

No capítulo 3, foi apresentada a metodologia de pesquisa adotada, detalhando o tipo de abordagem, os procedimentos metodológicos e as técnicas empregadas para o desenvolvimento do estudo. Também foi descrito o processo de elaboração e estruturação do roteiro de entrevista, considerando as técnicas utilizadas para a organização das questões e dos blocos temáticos, bem como sua relação com os objetivos da pesquisa. Foram ainda apresentadas as etapas de aplicação das entrevistas, os critérios de seleção dos participantes e os instrumentos utilizados para a coleta, organização e análise dos dados.

No capítulo 4, foi descrita a contribuição científica do trabalho, apresentando os dados encontrados durante a pesquisa e a análise dos resultados obtidos, onde foram destacados os indicadores e a aplicação TICs no monitoramento da segurança hídrica, evidenciando como essas tecnologias podem contribuir para a gestão dos recursos hídricos.

No capítulo 5, foram apresentadas as conclusões do estudo sintetizando os resultados e as contribuições alcançadas em relação aos objetivos propostos, além disso, foram indicadas sugestões para futuros trabalhos acadêmicos, com o objetivo de aprofundar e expandir as discussões e investigações sobre o uso de TICs no monitoramento da segurança hídrica.

No capítulo 6, reúne as referências bibliográficas utilizadas ao longo da dissertação, apresentações de acordo com as normas acadêmicas vigentes. Este capítulo contempla todas as

obras, artigos, documentos e outros materiais consultados, que fundamentaram teoricamente e metodologicamente o desenvolvimento do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão de Recursos Hídricos

De acordo com Fechine e Galvíncio (2014), os recursos hídricos desempenham papel central no processo de desenvolvimento regional, constituindo-se frequentemente como um dos principais fatores limitantes a esse avanço. Nesse sentido, a gestão hídrica assume caráter estratégico, demandando a implementação de ações estruturais e operacionais capazes de assegurar a disponibilidade de água, em termos quantitativos e qualitativos ao longo do tempo.

No contexto brasileiro, a gestão dos recursos hídricos é orientada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997. Tal marco normativo estabelece princípios, diretrizes e instrumentos voltados à garantia da disponibilidade hídrica, à promoção do uso racional e integrado da água, bem como à mitigação de eventos hidrológicos críticos.

A operacionalização dessa política ocorre por meio de um arranjo institucional no qual se destaca a atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), responsável pela implementação e monitoramento dos instrumentos de gestão. Para que os objetivos preconizados sejam efetivamente alcançados, a gestão hídrica depende de processos contínuos de monitoramento, fundamentais para o acompanhamento das condições dos corpos d'água, a identificação de riscos e o suporte qualificado à tomada de decisão.

Nesse contexto, o monitoramento se materializa por meio do emprego de indicadores, instrumentos analíticos que sintetizam informações complexas relativas à disponibilidade, à qualidade e aos usos da água, tornando-as mais acessíveis, comparáveis e operacionalizáveis no âmbito da gestão.

Entretanto, a efetividade desses indicadores está intrinsicamente condicionada à qualidade, à periodicidade e ao grau de integração dos dados produzidos. É nesse ponto que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) assumem relevância estratégica, ao viabilizarem a automação da coleta de dados, o monitoramento em tempo real, a integração de sistemas e o aprimoramento das capacidades analíticas.

Dessa forma, as TICs contribuem diretamente para o fortalecimento dos indicadores de segurança hídrica, promovendo uma gestão mais eficiente, responsiva e fundamentada em evidências empíricas.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021) é a entidade responsável pela implementação de política nacional de recursos hídricos e possui a autoridade

para supervisionar a gestão dos recursos hídricos a partir de cinco instrumentos descritos na PNRH:

- planos de recursos hídricos: são instrumentos de orientação para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e gerenciar esses recursos. Eles possuem características de longo prazo, ajustadas ao período necessário para execução de seus programas e projetos;
- enquadramento dos corpos de água em classe: é fundamental para estabelecer um sistema de monitoramento das condições de qualidade da água nas fontes. Além disso, essa abordagem serve como uma conexão entre a gestão da quantidade e a gestão da qualidade da água;
- outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos: visa garantir a gestão adequada, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, da água utilizada e assegurar que os direitos de acesso a esse recurso sejam exercidos de maneira efetiva;
- cobrança pelo uso dos recursos hídricos: é fundamental para criar um equilíbrio entre a oferta (disponibilidade do recurso hídrico) e a demanda. Esse sistema de cobrança não apenas promove uma convivência harmoniosa entre os usuários que disputam o acesso, mas também contribui para a redistribuição dos custos sociais, a elevação da qualidade dos efluentes descartados e o estabelecimento de fundos financeiros para o setor;
- sistema de informação sobre recursos hídricos: foi estabelecido com o objetivo de compilar, organizar, examinar e divulgar dados relacionados a recursos hídricos, englobando suas aplicações e o balanço hídrico de cada bacia e fonte. Esse sistema oferece a gestores, usuários, à sociedade civil e a outros interessados as informações necessárias para se engajar no processo decisório, ou até mesmo para que possam fazer escolhas de forma autônoma.

Segundo Abers e Jorge (2005), no contexto da gestão dos recursos hídricos no Brasil, houve uma tentativa de descentralizar as responsabilidades. No entanto, isso trouxe algumas dificuldades, como a insegurança jurídica para os comitês de bacias, além da falta de estrutura técnica e administrativa adequada. Essas questões dificultam a defesa do direito a uma fonte de água segura. Como resultado, a gestão do território passa a ser orientada principalmente pelas necessidades de conservação e uso sustentável dos recursos hídricos.

Campos e Fracalanza (2010), descrevem a gestão hídrica como uma atividade complexa, que para ser bem desenvolvida depende da integração entre políticas públicas no

sentido de se minimizar as disparidades socioeconômicas, sendo composto por diversos instrumentos como: política de águas; o plano de uso, controle e proteção das águas; o gerenciamento e monitoramento dos usos da água.

De acordo com Setti et al., (2001), gestão de recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez hídrica como fazer o uso adequado, visando a otimização dos recursos em benefício da sociedade. A administração eficaz dos recursos hídricos deve incluir uma política que define as orientações principais, um modelo de gestão que configure a estrutura legal e institucional, e um sistema de gestão que agrupe os instrumentos necessários para o planejamento, controle e proteção do uso das águas.

Porto e Porto (2008), afirmam que uma gestão sustentável dos recursos hídricos deve incluir diversas ferramentas, como: acesso a informações que estejam organizadas em uma base de dados e que sejam socialmente acessíveis, uma definição precisa dos direitos relacionados ao uso, monitoramento dos efeitos nos sistemas hídricos e um processo de tomada de decisões que assegure que as decisões tomadas sejam baseadas em dados e subsídios obtidos por meio de sistemas informatizados especializados.

Segundo Porto e Porto (2008) na administração dos recursos hídricos, apesar de iniciativas de sensibilização pública, programas de educação ambiental e diversas ações voltadas para mitigar os problemas gerados pela falta de água, as decisões mais adequadas podem ser feitas apenas com dados precisos e uma forte habilidade analítica. Assim, ressaltam a relevância dos Sistemas de Informação (SI) como instrumentos fundamentais para uma gestão mais eficaz.

2.2 Segurança Hídrica

A segurança hídrica está diretamente relacionada às pressões causadas pelo crescimento urbano em escala global e seu impacto sobre os recursos hídricos, influenciando tanto a sustentabilidade quanto a preservação da saúde humana. As necessidades futuras de água enfrentam níveis cada vez maiores de incerteza, agravados pelo avanço constante da escassez hídrica (Santos, Reis e Mendiondo, 2020).

Witter e Whiteford (1999), definem segurança hídrica como uma situação na qual exista água em quantidade e qualidade suficiente, e a um preço acessível, para atender às necessidades humanas em curto e longo prazos.

Para Van Beek e Arriens (2014), a segurança hídrica não se refere apenas à quantidade de água disponível, envolve diversos aspectos, incluindo a escassez, o acesso e a potabilidade e se relaciona com o crescimento dos riscos relacionados com as enchentes e secas.

A seguir são apresentadas três dimensões relacionadas à segurança hídrica (Van Beek e Arriens, 2014):

- Dimensão econômica: tem como propósito melhorar a produtividade e a eficiência no uso da água em todos os setores, além de promover a distribuição dos benefícios econômicos, sociais e ambientais na gestão de rios transfronteiriços;
- Dimensão social: tem a função de garantir o acesso igualitário aos serviços e recursos de água por meio de políticas eficientes e de um sistema legal robusto em todos os patamares governamentais. Ademais, é crucial para fomentar a resistência das comunidades diante de eventos hídricos severos, aplicando uma série de ações estratégicas;
- Dimensão ambiental: tem o propósito de administrar a gestão sustentável da água como componente de uma economia "ecológica" e revitalizar os serviços dos ecossistemas nas bacias hidrográficas para aprimorar a saúde dos rios.

É nesse contexto que o conceito de segurança hídrica ganha relevância, representando a garantia de uma gestão eficaz que assegure a disponibilidade de água para diferentes usos, atendendo às expectativas da sociedade, além de protegê-la contra os efeitos adversos de eventos hidrológicos extremos. A segurança hídrica está diretamente ligada às pressões exercidas pelo aumento da urbanização em escala global e sua repercussão nos recursos hídricos, o que em decorrência afeta a sustentabilidade e a proteção da saúde humana.

Conforme a Organização das Nações Unidas (2013), a segurança hídrica envolve quatro dimensões, que são essenciais para orientar o planejamento da disponibilidade e do consumo de água em uma nação. São elas:

- Garantia de disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para satisfazer as necessidades humanas;
- Garantia de acesso a uma quantidade e qualidade adequadas para a realização de atividades produtivas e diversos usos;
- Garantia de fluxo mínimo adequado para a conservação dos ecossistemas e dos corpos d'água;
- Promoção de resistência a eventos extremos, como secas e inundações.

De acordo com a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD, 2013), segurança hídrica envolve a administração dos riscos relacionados à água, como a disponibilidade, eventos extremos como secas e cheias, além da poluição. Também inclui os riscos ambientais causados por uma má gestão dos recursos hídricos, que podem afetar o equilíbrio dos ecossistemas.

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), elaborado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estabeleceu o Índice de Segurança Hídrica (ISH).

Esse índice tem como objetivo destacar as diversas dimensões da segurança hídrica no Brasil, vinculado às estratégias para gerir os riscos associados a situações críticas, tanto de enchentes quanto de secas, além de sugerir a conexão entre o conceito de riscos e a utilização da água (Alves et al., 2024).

Assim, de acordo com a ANA (2019), o ISH foi fundamentado em quatro dimensões: humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência.

- Humana: analisa a disponibilidade de água para o fornecimento em todas as cidades do país;
- Econômica: assegura-se a disponibilidade de água para as atividades agropecuárias e industriais;
- Ecossistêmica: indica a fragilidade dos recursos hídricos destinados ao consumo humano e a diversas aplicações, resultante da habilidade em sustentar uma reserva de água para funções naturais e da vulnerabilidade dessa reserva a perigos ambientais provenientes de contaminantes, como esgoto doméstico e resíduos de mineração;
- Resiliência: revela o potencial dos recursos hídricos do Brasil, tanto os naturais, como os superficiais e subterrâneos, quanto os artificiais e a distribuição da capacidade de sua renovação que é influenciada pela precipitação. Os resultados dessa análise apontam a região semiárida como a que apresenta maior vulnerabilidade.

Nessa perspectiva, o Índice de Segurança Hídrica (ISH) configura-se como um instrumento analítico fundamental ao estabelecer uma interface entre as políticas públicas voltadas à infraestrutura hídrica e aquelas direcionadas à gestão dos recursos hídricos. Tal integração possibilita a avaliação sistemática das condições de segurança hídrica em escala

municipal, permitindo identificar, de forma comparativa, os territórios que apresentam os níveis mais adequados de resiliência e garantia hídrica em diferentes dimensões.

Adicionalmente, a utilização de indicadores como ferramenta analítica voltada à avaliação municipal, particularmente no âmbito da gestão de recursos hídricos tem se mostrado essencial para a formulação e o aprimoramento de políticas públicas. Conforme destacado por Carvalho e Curi (2016), esses instrumentos contribuem significativamente para a identificação e incorporação de variáveis de natureza econômica, social e ambiental, favorecendo abordagens mais integradas, sistêmicas e orientadas à sustentabilidade.

2.3 Indicadores de segurança hídrica

Os indicadores têm sido amplamente utilizados em pesquisas no campo ambiental, sobretudo em razão de sua capacidade de revelar, de maneira sensível as rápidas transformações decorrentes das intervenções antrópicas nos sistemas naturais. Sua função primordial consiste na coleta, sistematização e mensuração de dados, com vistas à atribuição de significado e inteligibilidade às informações produzidas. Ademais, os indicadores possibilitam a simplificação de fenômenos complexos, tornando-os mais acessíveis à interpretação e, consequentemente, favorecendo a comunicação científica e a tomada de decisão (Silva, 2012).

De acordo com Machado (2018), os indicadores de segurança hídrica são compreendidos como instrumentos vinculados a estratégias de gestão destinadas a assegurar o acesso sustentável aos recursos hídricos, tanto sob a perspectiva quantitativa quanto qualitativa. Tais indicadores orientam-se para a garantia do bem-estar humano, a conservação dos ecossistemas e a promoção do desenvolvimento socioeconômico, constituindo-se, assim, em elementos fundamentais para a governança integrada dos recursos hídricos.

Esses indicadores possibilitam não apenas a observação do equilíbrio entre a oferta e a demanda de água, mas também a avaliação de como a administração dos recursos hídricos impactam o desenvolvimento socioeconômico, especialmente em regiões que enfrentam escassez de água (Moran-González 2024).

Um elemento fundamental na gestão de recursos hídricos é a qualidade da água, que se destacou como um indicador essencial. A qualidade da água tem um impacto direto não apenas na saúde pública, mas também repercute significativamente na agricultura, na indústria e na biodiversidade aquática.

Conforme destacado por Vörösmarty et al. (2010), os indicadores de qualidade da água configuram-se como instrumentos analíticos fundamentais para a avaliação da efetividade das políticas de gestão hídrica, particularmente em contextos nos quais a poluição e a degradação dos mananciais assumem caráter crítico. Ademais, tais indicadores desempenham papel central na verificação da conformidade com os marcos regulatórios ambientais, bem como na promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos em perspectiva de longo prazo. A utilização de indicadores socioeconômicos na avaliação dos resultados da gestão hídrica tornou-se uma prática comum, pois estes indicadores fornecem uma visão abrangente sobre como as políticas de gestão influenciam as comunidades e as economias locais .

Como destacado por Mehta et al. (2014), os indicadores socioeconômicos desempenham um papel fundamental na mensuração da equidade no acesso à água, no efeito das políticas de gestão sobre os meios de vida e na capacidade de resiliência das comunidades diante de eventos climáticos extremos. Ao integrar as dimensões sociais e econômicas, esses indicadores ajudam os gestores de recursos hídricos a tomar decisões mais informadas e justas.

Em conclusão, é fundamental criar indicadores específicos para lidar com os novos desafios trazidos pelas mudanças climáticas e pela variabilidade hídrica.

2.4 Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs)

Serão abordadas a seguir Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), com ênfase em sua importância para o aprimoramento do monitoramento da gestão eficaz dos recursos hídricos que possam auxiliar o processo de tomada de decisões fundamentadas em dados e informações. Essas ferramentas permitem a coleta e o processamento de informações em tempo real, favorecendo a identificação de riscos, a antecipação de cenários críticos e a execução de ações preventivas com maior precisão.

No contexto da gestão hídrica, as TICs viabilizam o monitoramento contínuo de variáveis essenciais, como nível dos reservatórios, vazão dos rios, qualidade da água e ocorrência de eventos extremos. Esse acompanhamento sistemático fortalece a construção e atualização de indicadores de segurança hídrica, uma vez que amplia a disponibilidade, a confiabilidade e a frequência dos dados utilizados. Como resultado, torna-se possível identificar tendências, antecipar cenários críticos como escassez ou cheias — e implementar medidas preventivas de forma mais ágil e precisa.

Conforme Bévort e Belloni (2009), as TICs englobam um conjunto de ferramentas tecnológicas que proporcionam agilidade na comunicação, assim como na transmissão e disseminação de informações. Proporcionam maior rapidez e confiança, entre outros benefícios, na comunicação de informações entre diferentes setores de uma empresa, por exemplo, na estruturação das atividades das organizações em relação a seus processos (Hammer e Champy, 1995).

Rosini e Palmisano (2003), ressaltam que a definição de TICs inclui uma grande variedade de hardware e softwares que estão se expandindo rapidamente, essas tecnologias têm a capacidade de coletar, processar, armazenar e acessar dados e imagens, ajudando no controle de equipamentos e processos de trabalho.

A seguir serão descritas algumas tecnologias da informação e comunicação utilizadas para coleta e análise de dados.

2.4.1 Internet das Coisas (IoT)

Segundo Revell (2013), a Internet das Coisas (IoT) representa uma transformação já em andamento, perceptível no aumento constante de dispositivos conectados à internet. Nesse cenário, a IoT diz respeito a um estado em que objetos, ambientes, veículos e até mesmo roupas passam a carregar uma quantidade crescente de informações associadas a eles, podendo interagir e se comunicar tanto entre si quanto com outros dispositivos integrados à web.

Em resumo, a IoT refere-se a um sistema que vincula objetos tangíveis por meio de um endereço IP ou outra rede, permitindo a troca, o armazenamento e a coleta de dados tanto para usuários quanto para empresas por meio de um aplicativo de software (Carrion e Quaresma, 2019).

Conforme Magrani relata, existem divergências no conceito de IoT, que:

> Existem fortes divergências em relação ao conceito de IoT, não havendo, portanto, um conceito único que possa ser considerado pacífico ou unânime. De maneira geral, pode ser entendido como um ambiente de objetos físicos interconectados com a internet por meio de sensores pequenos e embutidos, criando um ecossistema de computação onipresente (ubíqua), voltado para a facilitação do cotidiano das pessoas, introduzindo soluções funcionais nos processos do dia a dia (Magrani, 2018, p.20).

Conforme mencionado por Oliveira (2017), IoT possui diversas tecnologias associadas, incluindo a RFID, que proporciona uma identificação singular e tem sido utilizada amplamente em cartões de identificação, itens de supermercados e até como alternativa ao código de barras;

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), que consistem em redes de sensores interconectados que conseguem coletar informações e se comunicar de forma sem fio. RFID é uma tecnologia de comunicação sem fio de curto alcance que atribui uma identificação única (tags ou etiquetas) a objetos, humanos ou animais, permitindo a representação do mundo real no ambiente virtual (Weinstein, 2005).

Segundo Gokhale (2018), a IoT é uma grande novidade tecnológica que busca conectar os objetos do nosso dia a dia a uma rede de computadores. Esses objetos têm sensores e conexões que permitem trocar informações com outros dispositivos que também estão conectados à internet, que podem usar as informações para atuar em outros sistemas, alterar parâmetros ou fornecer armazenamento de conhecimento para enriquecer a lógica, as regras e as ferramentas de raciocínio.

Lopes e Moori (2021), definem a IoT como a integração de sensores, conectividade e mobilidade para viabilizar a digitalização dos processos industriais. A integração de diversas tecnologias torna a IoT possível. A redução do tamanho, peso, consumo de energia e custo das tecnologias sem fio possibilitam que qualquer objeto tenha capacidade de comunicação.

A Internet das Coisas (IoT) também desempenha um papel fundamental na implementação de ambientes inteligentes, permitindo o reconhecimento e a identificação de objetos, além de possibilitar a obtenção de informações da internet. Essa integração facilita a aplicação de funcionalidades adaptativas nos sistemas, promovendo maior eficiência e personalização, conforme destacado por (Weber, 2009).

A IoT permite que os objetos comuns do cotidiano, equipados com habilidades computacionais e de comunicação, se conectem à internet. Essa conexão possibilita o controle remoto desses objetos, além de acessá-los como prestadores de serviços, transformando-os em objetos inteligentes ou *smart objects*. Os objetos inteligentes integram a capacidade de comunicação e processamento com sensores (Mancini, 2017).

De acordo com Hart e Martinez (2015), a IoT fornece a base que possibilita o acesso a sensores e procedimentos de maneira simples e clara, empregando protocolos comuns, sem considerar o tipo de hardware, sistema operacional ou localização. As utilizações da Internet das Coisas são diversas, uma vez que podem ser integradas a qualquer tecnologia que consiga oferecer dados importantes sobre o andamento de uma tarefa, sobre seu funcionamento interno e até mesmo sobre as condições do ambiente que precisam ser acompanhadas e geridas à distância (Moraes et al., 2022).

No universo da IoT, a tecnologia digital se torna um componente fundamental da estratégia corporativa e surgirão a necessidade de novos modelos de gestão e de negócios, que considerem a tecnologia como um meio de vantagem competitiva, em vez de meramente uma função de apoio (Mancini, 2017).

A partir do conhecimento que a IoT representa uma aplicação relevante que pode ser feito no contexto da segurança hídrica é proposto por Farias (2025), que tem como objetivo que essa tecnologia tem sido empregada em soluções voltadas ao monitoramento e à gestão dos recursos hídricos em áreas urbanas e rurais. Por meio da utilização de sensores conectados, plataformas em nuvem e redes de comunicação de baixo consumo energético, torna-se possível acompanhar continuamente e de forma remota variáveis como nível, vazão e qualidade da água.

Dessa maneira, para Falsarella, Silva e Mariosa (2022) com o uso de IoT e Big Data, que será descrito a seguir, é possível aprimorar a gestão dos recursos hídricos no espaço territorial das bacias hidrográficas, especialmente para analisar aspectos relacionados à qualidade e quantidade de água.

2.4.2 Big Data

De acordo com Vianna, Dutra e Frazzon (2016), para realizar uma administração eficiente é necessário converter dados em informações valiosas, que possam ser empregadas para orientar as operações e estratégias das empresas, reduzindo riscos e auxiliando no processo de decisão de modo que a decisão seja baseada cada vez mais em informação do que na intuição.

Segundo McAfee et al., (2012) Big Data faz referência a grande volume de dados que possuem diferentes características, são heterogêneos e que originam de diferentes fontes. Conforme discutido por Saldanha; Barcellos e Pedroso (2021), o Big Data representa componentes dentro da área da ciência de dados, que abrange elementos, como as táticas para a extração, transformação e o carregamento de dados, além da modelagem, do desenvolvimento e da avaliação de algoritmos descritivos e preditivos. Inclui ainda a visualização de grandes volumes de dados e a implementação de modelos em contextos produtivos, visando apoiar a tomada de decisões, entre outros pontos.

Mendonça, Andrade e Neto (2018), apresentam as dimensões do Big Data conhecidas como "5Vs", conforme descrição no Quadro 1.

Quadro 1 - Dimensões de Big Data

Dimensão	Definição
Volume	Refere-se a grandes volumes de dados e informações que são produzidos a partir de diferentes fontes
Variedade	Diz respeito a diversidade de dados e fontes de dados
Velocidade	Está relacionado a rapidez no acesso às informações e na tomada de decisões
Veracidade	Refere-se a confiança na precisão dos dados apresentados
Valor	Refere-se a utilização das informações e a sua relevância em um contexto específico

Fonte: Adaptado de Mendonça et al., (2018).

Para McAfee et al., (2012) o Big Data possibilita aumentar a eficiência e a eficácia das empresas, além de apoiar a tomada de decisões fundamentadas em dados em vez de intuições.

Para Dobre e Xhafa (2014), o conceito de Big Data vai além da mera qualidade dos dados, trata-se de uma chance de descobrir informações emergentes que permitem que as empresas se tornem mais dinâmicas e respondam a questões mais rapidamente.

A partir do entendimento de Big Data, que possui de aplicações no contexto da segurança hídrica é proposto por Silva (2021), que essa tecnologia tem como objetivo atuar como uma importante ferramenta tecnológica para a preservação dos recursos hídricos. Relacionado ao campo da inteligência artificial, o Big Data possibilita a análise e a compreensão de grandes volumes de dados relacionados as águas superficiais e subterrâneas, resultando em informações valiosas que auxiliam na tomada de decisões e contribuem para o fortalecimento do acesso à água como um direito essencial.

2.4.3 Inteligência Artificial (IA)

Para Sichman (2021), é importante destacar que não há uma definição acadêmica rigorosa para inteligência artificial (IA), de maneira geral pode ser entendida como um campo interdisciplinar situado no âmbito das ciências da computação e da engenharia, cuja principal finalidade é o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de resolver problemas de forma eficiente.

Para Rich e Knight (1991), IA é um ramo avançado da ciência da computação voltado para o desenvolvimento de sistemas que podem executar atividades geralmente requeridas por habilidades humanas. Essa tecnologia abrange uma variedade de abordagens e métodos, incluindo o aprendizado de máquinas, que capacita os dispositivos a entenderem, interpretar e

produzir linguagem humana, além de realizar tarefas de visão computacional (Jansen; Abreu 2024).

Além de lançar produtos inovadores, a inteligência artificial está promovendo uma otimização de serviços sem precedentes, um exemplo notável é a aplicação de entrega aérea autônoma, que apresenta potencial para transformar a logística, particularmente em áreas de difícil alcance ou em emergências, por meio do uso de drones operados por IA visando a distribuição de itens como medicamentos e alimentos. Com isso essa tecnologia promete não apenas diminuir os custos operacionais, mas também ampliar a eficiência e acelerar significativamente o processo de entrega (Jansen; Abreu 2024).

Para Russell (2021), a IA pode ser caracterizada como investigação de sistemas computacionais inteligentes que captam informações do ambiente, realizam atividades e fazem escolhas de forma independente. Com isso, Ragot, Rey e Shafai (2020), esclarecem que na maior parte das ocasiões, a inteligência artificial pode ser associada a dispositivos eletrônicos que realizam tarefas, as quais eram frequentemente vinculadas às capacidades mentais da mente humana.

Com isso, a IA pode desempenhar um papel importante na luta contra as mudanças climáticas, uma vez que ela consegue analisar grandes quantidades de dados sobre o clima, o que ajuda a fazer previsões mais precisas, podendo criar estratégias melhores para reduzir os impactos e adaptar de forma mais eficiente às mudanças que estão acontecendo (Artaxo; Rizzo e Machado, 2024).

De acordo com Souza (2008), a IA é um sistema cibernético que se dedica à implementação de soluções por meio de softwares que não foram previamente determinadas pela ação humana. Dessa maneira com a IA, um computador pode desenvolver respostas utilizando como referência situações anteriores ou comandos humanos, aplicando esse conhecimento a novos casos semelhantes, entretanto essa intenção não se refere à intenção humana, mas sim ao resultado obtido pela máquina, que é desprovido de reflexão e criatividade por parte do programador ou do seu criador.

Em resumo a IA se revela uma ferramenta extremamente eficaz para impulsionar a sustentabilidade em diferentes setores, e com sua habilidade de processar e examinar vastas quantidades de informações pode ser aproveitada para fazer escolhas mais conscientes e eficazes, favorecendo tanto o meio ambiente quanto a coletividade de maneira ampla (World Economic Forum, 2018).

De acordo com Damilano (2019), há dois tópicos fundamentais que pertencem ao campo da IA, que são Machine Learning e Deep Learning. Tanto o Machine Learning quanto o Deep Learning capacitam os computadores a reconhecerem padrões e a fazerem previsões sobre determinados eventos e circunstâncias, permitindo que as máquinas realizem decisões de forma intuitiva, como se não tivessem recebido programação específica.

Segundo Begas et al., (2024) Machine Learning é uma área da inteligência computacional que emprega algoritmos para absorver informações e fazer previsões. A aplicação do machine learning destaca-se como uma abordagem altamente eficaz na manutenção prescritiva, permitindo a realização de escolhas mais inteligentes e precisas de forma preventiva.

Machine Learning é uma técnica para analisar dados que torna automática a elaboração de modelos analíticos, trata-se de uma área da inteligência artificial fundamentada na noção de que os sistemas têm a capacidade de aprender com os dados, reconhecer padrões e realizar escolhas com pouca interferência humana (Pereira, Farina e Florian, 2022).

Para Almeida et al., (2018) Deep Learning, pode ser descrito como um grupo de métodos de aprendizagem de máquina que investiga várias camadas de informações não lineares. Essencialmente, essa abordagem busca desenvolver diversos níveis de representação e abstração, permitindo a extração de padrões significativos em dados complexos, como imagens, áudio e texto.

A partir do entendimento de que a IA possui aplicações no contexto da segurança hídrica, proposto por NTI (2023), que essa tecnologia tem como objetivo aprimorar a análise das interações entre diferentes variáveis ambientais, contribuindo para o desenvolvimento de soluções voltadas à recuperação de corpos hídricos contaminados por atividades de mineração irregular. Nesse contexto, modelos de IA, como redes neurais artificiais, sistemas neuro-fuzzy adaptativos e regressão linear múltipla, podem ser empregados como métodos eficientes para avaliar processos de absorção em águas poluídas.

2.4.4 Sensoriamento Remoto (SR)

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma técnica que permite obter imagens da superfície da Terra sem a necessidade de interação física direta entre o sensor e o objeto que está sendo observado. Nesse contexto, o sensoriamento remoto emerge como uma ferramenta

complementar aos programas de monitoramento convencionais, permitindo preencher lacunas tanto temporais quanto espaciais (Bukata, 2005).

Carvalho Júnior (2018), afirma que o sensoriamento remoto proporciona a coleta de informações confiáveis, atualizadas e com elevado grau de precisão para o monitoramento de corpos hídricos, essa tecnologia é de grande utilidade nas atividades relacionadas à conservação e ao manejo de áreas úmidas, na análise de eventos de inundação, no desenvolvimento de modelos preditivos para desastres e em diversas outras aplicações.

Os métodos e as análises de dados de sensoriamento remoto voltados para estudos hídricos têm evoluído com crescente rapidez, impulsionados pela ampla disponibilidade de grandes conjuntos de dados e algoritmos gratuitos (Carvalho Júnior, 2018). Diversas utilizações podem ser analisadas por meio do sensoriamento remoto, como a avaliação da biomassa e da produtividade das culturas; supervisão do estresse hídrico e do vigor das plantas; e análise do estágio fenológico (Brandão, 2009).

Nesse sentido a partir do conhecimento de uso de sensoriamento remoto, uma aplicação que pode ser feito no contexto de segurança hídrica sendo proposto por Silva et al., (2021) que o monitoramento remoto proporciona leituras automáticas, periódicas e que não causam danos, entretanto a maioria dessas técnicas pode ser ajustada e confirmada com dados obtidos em campo, o que permite avaliar a eficiência do sensor, considerando sua resolução espacial e temporal, para modelar a evapotranspiração em nível de propriedade, bacia ou região. Essas qualidades oferecem um enorme potencial para supervisionar o estresse hídrico, assim como para planejar a irrigação e analisar o desenvolvimento fenológico das culturas irrigadas e de sequeiro (Silva et al., 2021).

Diante desse cenário, este trabalho investiga aspectos relevantes da Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), e ressaltando ferramentas como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Sensoriamento Remoto (SR) e aplicação de Big Data. Essas inovações estão se tornando cada vez mais significativas na garantia da segurança hídrica e na melhoria da gestão de recursos hídricos, especialmente em contextos de escassez, mudança climáticas e a exigência de decisões baseadas em dados concretos. Entretanto a combinação dessas tecnologias possibilita uma análise de dados mais precisa, a previsão de riscos e a elaboração de soluções sustentáveis.

Dando continuidade a essa linha de raciocínio, o próximo tópico apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa, contemplando a abordagem, os procedimentos metodológicos, as etapas de realização do estudo e os instrumentos utilizados

para a coleta e análise dos dados. Considerando que um dos objetivos centrais deste estudo é realizar entrevistas com especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos, também será apresentada a técnica de estruturação das entrevistas, abordando os procedimentos empregados para a elaboração e organização do roteiro, a definição dos blocos temáticos e a formulação das questões, de modo a possibilitar a obtenção de informações relevantes para os objetivos da pesquisa.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Abordagem metodológica

Trata-se, metodologicamente, de uma pesquisa de natureza aplicada, exploratória e descritiva, cujo dados de estudo, de caráter quantitativo e qualitativo serão obtidos com base nos resultados da pesquisa bibliográfica e documental realizada na fase inicial deste projeto e por meio de um roteiro de entrevistas semiestruturadas, as quais serão conduzidas com especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos.

A pesquisa quantitativa foca na imparcialidade, sendo influenciada pelo positivismo, acredita que a realidade pode ser entendida apenas através da análise de dados brutos, coletados utilizando ferramentas padronizadas e isentas. A pesquisa quantitativa utiliza a linguagem matemática para explicar as origens de um fenômeno, as interações entre variáveis, entre outros aspectos (Silveira, 2009).

A pesquisa qualitativa foca menos na representatividade numérica e mais na busca por uma compreensão aprofundada sobre um grupo social ou uma organização, conforme indicado por (Silveira, 2009).

De acordo com Gil (2008), a pesquisa aplicada compartilha diversos aspectos com a pesquisa pura, pois se baseia nas descobertas feitas e se aprimora por meio de processo, entretanto sua principal característica é o foco na aplicação, uso e resultado práticos do saber adquirido.

As pesquisas exploratórias têm como objetivo principal desenvolver, esclarecer e ajustar conceitos e ideias, visando à formulação de questões mais específicas ou hipóteses que possam ser investigadas em estudos futuros (Gil, 2008).

De acordo com Gil (2008), o propósito da pesquisa descritiva é analisar as particularidades de um grupo, visando captar as opiniões, atitudes e crenças de uma comunidade.

Segundo Andrade (2002), aponta que a pesquisa descritiva tem como foco a observação dos acontecimentos, sua documentação, análise, classificação e interpretação, sem que o pesquisador interfira neles. Desta forma, os fenômenos que ocorrem nos âmbitos físico e humano são examinados, mas não são alterados pelo pesquisador.

Para desenvolvimento da fundamentação teórica os dados deste estudo foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental onde optou-se pela busca em plataformas que oferecem uma ampla variedade de periódicos indexados, garantindo a qualidade e a

confiabilidade das fontes. Na pesquisa bibliográfica utilizou artigos selecionados com base em sua relevância para a pesquisa bibliográfica e análise, portanto as bases de dados consultadas incluíram Scielo, Web of Science, Scopus, PubMed e o Portal de Periódicos Capes, devido à sua credibilidade e abrangência no acesso a publicações científicas de alto impacto.

Portanto foram priorizados artigos publicados nos últimos 10 anos, no entanto, textos clássicos importantes para a área foram incluídos, independentemente de sua data de publicação, devido à sua contribuição histórica e conceitual sobre o tema, textos clássicos complementam a seleção ao fornecer um arcabouço histórico e teórico essencial, contribuindo para o entendimento das questões mais amplas e de longa data relacionadas à recursos hídricos.

A busca foi realizada nas bases de dados Scopus, Scielo, Web of Science e Portal de Periódicos da CAPES, utilizando expressões booleanas, para identificar estudos que abordassem a relação direta entre a segurança hídrica e a tecnologia de informação e comunicação (Quadro 2).

Quadro 2 - Critérios de busca

CRITÉRIOS DE BUSCA NAS BASES DE DADOS
"Water security" AND "Water resources management"; "Interview structure" AND "Interview technique"; "Information and communication technology" AND "Internet of things"; "Artificial Intelligence" AND "Remote sensing"; "Big data" AND "IoT"; "Indicators" AND "Water security", "Water security" AND "ICTs"; "Remote sensing" OR "drones"; "Machine Learning" AND "Deep Learning"; "Big data" AND "IoT"; "Indicators" AND "Water resources management"

Fonte: Elaboração própria (2026).

Dando continuidade à abordagem metodológica, foi elaborado um roteiro de entrevistas (vide apêndice 1) onde procurou-se transformar os objetivos do estudo em perguntas direcionadas ao público-alvo. Cujo detalhe será apresentado a seguir.

3.2 Técnicas de estruturação de entrevistas

Em uma pesquisa científica, existem alguns tipos de roteiros de entrevista utilizados que podem ser adaptados para diferentes contextos. Conforme Coelho (2020), o roteiro de entrevista pode ser utilizado como uma ferramenta para compreender uma população em relação às suas crenças, conhecimentos, representações e informações específicas, bem como para abordar questões ligadas ao ambiente em que vivem.

De acordo com Coelho (2020), o roteiro de entrevista constitui uma ferramenta amplamente utilizada para essa finalidade, embora nem sempre seja a mais apropriada. Por meio de seu uso, é viável acessar informações primárias diretamente junto ao sujeito pesquisado. Embora as respostas sejam obtidas diretamente da fonte, aplicar o roteiro de entrevista não é uma tarefa simples, até se chegar a uma ferramenta eficaz, há uma grande dose de cautela e muitas pesquisas a seguir.

De acordo com Gil (2008), é fundamental que um roteiro de entrevista comece com uma introdução, que pode ser elaborada através de uma carta à parte ou por meio de uma seção que utilize elementos gráficos para destacar essa introdução. Antes da aplicação do roteiro, o pesquisador precisa fornecer aos participantes uma carta de apresentação, que atua como a primeira impressão sobre o projeto e enfatiza a importância do estudo. Nesta carta, os objetivos da pesquisa devem ser claramente expostos, assim como a identificação da instituição que está conduzindo a pesquisa, sendo essencial mencionar que o anonimato dos participantes será assegurado. Para finalizar, a carta deve incluir um agradecimento aos respondentes, reconhecendo e valorizando o tempo que dedicaram.

Para elaborar um roteiro é preciso saber quem é o seu público-alvo, qual o objetivo da pesquisa, quais tipos de roteiro mais apropriado para a pesquisa, após todo esse levantamento de dados, se inicia a elaboração do roteiro (Bastos et al., 2023). O roteiro oferece mais praticidade, já que pode ser respondido no momento mais conveniente para o participante, sendo um fator que pode influenciar positivamente na qualidade das respostas (Chaer et al., 2012).

De acordo com Bastos et al., (2023), o roteiro constitui um instrumento valioso para a coleta de informações em pesquisas, pois permite a obtenção de dados estruturados e pode ser aplicado frequentemente sem a necessidade da presença do pesquisador. Além disso, apresenta como vantagem a simplicidade na análise dos dados em comparação com outros métodos. Por meio de roteiro, é viável reunir informações de maneira mais eficiente, o que torna mais simples uma análise numérica e ajuda na compreensão de características específicas.

De acordo com Santos et al., (2020), uma das grandes vantagens do formulário online é a possibilidade de automatizar o processo de coleta de informações. Ao empregar ferramentas tecnológicas adequadas, é possível projetar o formulário de modo que as respostas sejam registradas automaticamente. Isso diminui os erros no preenchimento e possibilita a realização de análises preliminares dos dados de maneira ágil e eficiente. Assim, a pesquisa se torna mais eficaz, economizando tempo e recursos.

Nesse contexto, a entrevista apresenta benefícios superiores quando comparada ao roteiro, uma vez que durante a entrevista o entrevistador tem a capacidade de explicar o que as perguntas significam e se ajustar com mais facilidade as pessoas e ao ambiente em que ocorre, além de permitir a percepção das expressões verbais do respondente (Gil, 2008).

De maneira geral, pode-se dizer que as entrevistas se classificam em dois tipos principais: as estruturadas, que direcionam em maior medida as respostas esperadas, e as semiestruturadas, conduzidas de maneira mais espontânea (Gil, 2008). As estruturas de perguntas podem ser classificadas como: questões abertas, questões fechadas, questões mistas.

Em questões fechadas, o entrevistador deve selecionar uma opção de uma lista fixa, apontando a que mais se alinha com a resposta que deseja dar, essa abordagem promove uma maior padronização e consistência nos dados obtidos através do roteiro em comparação com as perguntas abertas. No entanto, muitos roteiros mostram uma distribuição variável entre esses dois estilos de perguntas (Gerhardt, 2009).

Para Gil (2008), nas questões fechadas os participantes devem selecionar uma opção dentre as apresentadas em uma lista, esse formato é amplamente utilizado, pois proporciona maior consistência nas respostas e permite um processamento significante, no entanto existe a possibilidade de que algumas opções importantes fiquem de fora.

Richardson (2012), esclarece que as questões fechadas são ferramentas de pesquisa estruturadas, onde as perguntas ou afirmações oferecem respostas previamente determinadas e fixas. Nesse contexto, o participante precisa escolher a alternativa que mais se adeque às suas características, opiniões ou sentimentos. Além disso, as questões fechadas podem apresentar diferentes formatos, como opções binárias, dicotômicas, múltipla escolha, escalonadas, hierarquizadas, entre outros.

O roteiro com questões abertas é aquele que o respondente responde com suas próprias palavras, sem qualquer restrição (Gil, 2008). Sendo as vantagens de questões abertas é conseguir respostas que de fato refletem a opinião e demonstra o nível de informação do respondente, além de apresentar informações inesperadas. As questões mistas, que combinam opções fechadas e abertas, são aquelas em que, em uma lista previamente definida, há a inclusão de uma alternativa aberta, como "outros" (Gerhardt, 2009).

O roteiro deve orientar no que diz respeito à sequência da informação a ser transcrita, se há texto como resposta a perguntas abertas, não somente deve ser legível, mas também claro. A aplicação desse tipo de roteiro pode ser facilitada por ferramentas online, como por exemplo,

a plataforma Microsoft Teams, que tornam o processo ágil e acessível aos respondentes. Além disso, o roteiro deve ser acompanhado de uma carta de apresentação.

Segundo Gil (2008), a carta serve para introduzir o objetivo do estudo e contextualizar a importância da contribuição do respondente, ajudando a criar uma conexão imediata e demonstrando a relevância da pesquisa para o campo estudado.

Outro ponto a ser observado é a quantidade de perguntas, o pesquisador deve elaborar um número adequado de questões para obter as respostas desejadas, sem que desestimule a participação do respondente. Um roteiro excessivamente longo pode provocar cansaço e desmotivação nos respondentes, enquanto um formato excessivamente conciso pode comprometer a obtenção de dados suficientemente relevantes e completos para a pesquisa (Lakatos; Marconi, 2017).

O roteiro se configura como uma ferramenta valiosa para a coleta de dados no campo da pesquisa, considerando os objetivos e os formatos específicos de cada levantamento, possibilitando a obtenção de dados organizados para análises futuras. Segundo Bastos (2023), o roteiro é a ferramenta mais utilizada para essa finalidade, embora nem sempre seja a opção mais apropriada, ele permite obter informações primárias diretamente do indivíduo pesquisado. Para utilizar esse instrumento de maneira eficaz, é fundamental prestar atenção à sua construção, incluindo a estrutura, a formulação das perguntas, a sequência das questões, os aspectos éticos e a consideração de testes que já tenham sido validados.

Todos esses elementos devem ser cuidadosamente considerados para garantir que as informações obtidas atendam aos objetivos da pesquisa, apoiando assim a análise subsequente dos dados (Bastos et al., 2023).

Para Gil (2008), a entrevista estruturada é conduzida com base em um conjunto fixo de perguntas, mantidas na ordem e redação para todos os participantes, que geralmente constituem um grupo e as vantagens desse formato destacam-se a agilidade na aplicação, a necessidade de uma preparação menos demandante por parte do pesquisador, o custo reduzido e a possibilidade de realizar análises estatísticas dos dados, uma vez que as respostas são padronizadas.

Segundo Triviños (2013), as entrevistas semiestruturadas destacam-se por incluir questionamentos baseados em teorias e hipóteses vinculadas ao tema investigado. Esses questionamentos abrem espaço para a formulação de novas hipóteses, que podem emergir das respostas fornecidas pelos informantes, o roteiro não apenas orienta a coleta de informações

essenciais, mas também funciona como um recurso para o pesquisador organizar o processo de interação com o informante, facilitando o andamento da entrevista conforme necessário.

Dessa forma, ao conduzir a entrevista destaca a utilização de um roteiro estruturado baseado em questões principais, adotado como estratégia para organizar e alcançar os objetivos delineados pela pesquisa. Contudo, reconhece que questões espontâneas surgem durante a interação entre pesquisador e participante, favorecendo a emergência de informações de forma mais fluida, assim as respostas obtidas apresentam um caráter mais dinâmico, não sendo limitadas por uma padronização rígida de alternativas (Manzini, 2004).

Esse método possibilita respostas mais espontâneas e flexíveis ao não restringir as informações apenas às opções fornecidas inicialmente. Estruturalmente, as perguntas visam realizar exatamente os objetivos principais da pesquisa, ao mesmo tempo em que oferecem a oportunidade de explorar a fundo a percepção e a experiência dos participantes.

Portanto, na entrevista não estruturada ou livre, sua principal característica é que não há roteiro a ser seguido pelo pesquisador (Silva, 2006).

No Quadro 3 são exibidas as comparações entre os tipos de entrevistas que foram discutidos anteriormente, conforme os autores: Gil (2008), Manzini (2004) e Santos (2003).

Quadro 3 - Comparações entre tipos de entrevistas

CARACTERÍSTICA	ESTRUTURADA	SEMIESTRUTURADA	NÃO ESTRUTURADA
Grau de padronização	Alta	Média	Baixa
Perguntas	Predeterminadas e fixas	Permite flexibilidade	Pouca nenhuma pergunta predeterminada
Flexibilidade	Baixa	Média	Alta
Controle do entrevistador	Alto	Moderado	Baixo
Resposta dos entrevistados	Resposta curtas, diretas limitadas pelas opções de respostas	Variedade de respostas, permitindo maior elaboração	Maior liberdade nas respostas, permitindo narrativas mais detalhadas
Uso de roteiro	Sim	Sim, com maior flexibilidade	Não
Tempo de entrevista	Curto	Variável, dependendo da profundidade das respostas	Geralmente longo, permitindo mais exploração das informações.
Aplicação	Para estudos quantitativos e deseja comparabilidade entre entrevistas	Utilizados em estudos qualitativos, quando se deseja compreender as experiências e perspectivas dos entrevistados	Preferidas em estudos qualitativos exploratórios e em pesquisas onde se busca compreender fenômenos
Autores	Gil (2008)	Manzini (2004)	Santos (2003)

Fonte: Adaptado de Silva (2006).

Com isso, a entrevista é considerada uma das principais técnicas para a coleta de dados sobre um fenômeno específico, ocupa um papel central no trabalho de campo. Trata-se de uma interação verbal entre duas ou mais pessoas, conduzida com um grau de estruturação previamente estabelecido, tendo como objetivo principal a obtenção de informações relevantes para a pesquisa (Richardson, 2012).

3.3 Realização de entrevistas semiestruturadas

A pesquisa recebeu aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, identificado pela sigla CEP/PUC-Campinas, com número de processo: 87065825.2.0000.548, garantindo o cumprimento das diretrizes éticas no decorrer das entrevistas. Destaca-se que este estudo está associado ao projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), evidenciando seu compromisso com rigor científico e relevância acadêmica.

A partir do referencial teórico sobre elaboração de entrevistas, apresenta-se o Quadro 4 que dispõe seis etapas para realização de entrevistas semiestruturadas.

Quadro 4 - Etapas metodológicas para a realização das entrevistas com especialistas

ETAPA	DESCRIÇÃO	AÇÕES PRINCIPAIS
1ª Etapa: Elaboração e testagem do roteiro da entrevista	Construção do instrumento de coleta de dados e sua validação preliminar	Estabelecer um conjunto de questões; Submeter o roteiro elaborado à apreciação crítica de colegas e especialistas da área; Conduzir entrevistas-piloto visando testar a efetividade do roteiro; Proceder à revisão e adequação do conteúdo com base nos resultados obtidos e no feedback recebido;
2ª Etapa: Contato inicial com os participantes	Seleção e convite dos participantes da pesquisa	Identificar os possíveis participantes; Entrar em contato com os participantes; Formalizar o convite; Definir a data e o horário da entrevista;
3ª Etapa: Realização das entrevistas	Realização da entrevista em conformidade com os princípios éticos e as diretrizes técnicas estabelecidas.	Comparecer no dia, horário e local previamente definidos; Entregar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) ao participante; Pedir ao participante que leia e assine o TCLE; Dar início à gravação; Realizar a entrevista seguindo o roteiro previamente aprovado.
4ª Etapa: Transcrição das entrevistas	Conversão do conteúdo verbal em formato textual seguindo parâmetros estabelecidos.	Decidir entre uma transcrição naturalista; Garantir a fidelidade da transcrição; Submeter a validação dos participantes;

5ª Etapa: Análise dos dados	Análise dos dados coletados com ênfase na identificação de padrões relevantes.	Comparar os dados coletados, buscando estabelecer padrões, identificar concordâncias e divergências; Vincular as informações obtidas diretamente às questões centrais da pesquisa; Assegurar a preservação da anonimidade dos participantes ao longo de todo o processo;
6ª Etapa: Apresentação dos resultados	Apresentação detalhada dos resultados obtidos na pesquisa.	Como os resultados serão organizados, interpretados e disponibilizados, destacando a relevância da pesquisa.

Fonte: Elaboração própria (2026).

3.3.1 Etapa 1 - Elaboração e testagem do roteiro de entrevistas

O roteiro das entrevistas, vide anexo 1, foi elaborado com base nos objetivos da pesquisa e na revisão sistemática da literatura realizada pelo Projeto FAPESP de Políticas Públicas denominado Bacias hidrográficas inteligentes: tecnologias inovadoras para o monitoramento da segurança hídrica das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí no Estado de São Paulo, nº 2023/10091-5, que apontou as principais tecnologias inovadoras aplicadas à gestão de recursos hídricos, especialmente a segurança hídrica.

A estrutura do roteiro de entrevistas foi organizada em seis blocos temáticos, buscando abordar os objetivos da pesquisa de forma abrangente.

- O **primeiro bloco:** trata da identificação dos participantes, coletando informações básicas como nome, formação e instituição.
- O **segundo bloco:** aborda a experiência profissional dos entrevistados, com foco em sua atuação na área de recursos hídricos.
- O **terceiro bloco:** explora os conceitos de gestão de recursos hídricos e segurança hídrica, fundamentando-se na revisão teórica realizada previamente.
- O **quarto bloco:** são investigadas as tecnologias inovadoras, procurando identificar quais delas os participantes conhecem e utilizam. Também são apresentadas as tecnologias identificadas por meio de uma revisão sistemática da literatura, bem como os indicadores relacionados, extraídos de estudos científicos.
- O **quinto bloco:** aprofunda o tema dos indicadores, analisando sua aplicação prática e relevância para o monitoramento da segurança hídrica.
- O **sexto bloco:** abre espaço para comentários finais, permitindo que os participantes compartilhem perspectivas futuras e sugestões pertinentes ao tema da pesquisa.

A primeira entrevista teste foi realizada com um especialista na área de atuação de gestão de recursos hídricos, selecionado previamente para colaborar com a validação do roteiro

de entrevistas. O encontro ocorreu de forma on-line, em ambiente tranquilo e previamente agendado, garantindo condições adequadas de privacidade e conforto. No início do encontro, foi feita a apresentação de toda a equipe do projeto, reforçando o compromisso ético da pesquisa e esclarecendo que seus dados pessoais não seriam expostos, garantindo-se assim o anonimato.

O entrevistador seguiu rigorosamente a ordem estabelecida do roteiro conduzindo as perguntas de forma clara e organizada, todas respondidas pelo entrevistado de maneira espontânea, possibilitando identificar trechos em que os enunciados poderiam ser reformulados para maior objetividade. Também foi possível avaliar a duração média da entrevista, o tempo de resposta e a necessidade de ajustes na linguagem para torná-la mais acessível. Ao final, foi solicitado um breve feedback do entrevistado quanto à compreensão das perguntas e à experiência de participação. Esse retorno contribuiu para adequação do roteiro e apontar pontos que poderiam ser revisados, garantindo maior fluidez e precisão nas entrevistas subsequentes.

3.3.2 Etapa 2 - Contato inicial com os participantes

O contato inicial com os participantes foi realizado prioritariamente por meio de correio eletrônico, a partir de indicações de especialistas da área. No e-mail enviado, foi apresentado uma breve descrição do projeto de pesquisa e do objetivo da participação, além do convite para colaborar por meio de entrevista ou preenchimento de um formulário on-line via Google Forms, cujo link foi disponibilizado no corpo da mensagem. Dessa forma, cada convidado pôde escolher a forma de participação que considerou mais adequada. As entrevistas foram realizadas com membros de comitês de bacia, gestores públicos, pesquisadores e outros atores que atuam com segurança hídrica e gestão de bacias hidrográficas.

Como o objetivo é buscar o conhecimento pessoal de cada entrevistado, não foi necessária autorização formal dos locais onde atuam, os participantes são tanto do Brasil quanto de outros países.

Para viabilizar a participação dos especialistas, foi elaborado e apresentado no Quadro 5, um convite formal encaminhado por e-mail, no qual são apresentados os objetivos do projeto, as formas de participação (entrevista on-line ou preenchimento de formulário) e as garantias de anonimato dos dados.

Quadro 5 - Convite aos especialistas para participação nas entrevistas

Convite para entrevista: Bacias Hidrográficas Inteligentes

Prezado xxxx ,

O xxxxx, o indicou para participar de uma entrevista que faz parte das atividades de nosso projeto FAPESP, cujo principal objetivo é desenvolver **Bacias Hidrográficas Inteligentes.** Buscamos melhorar a eficiência da gestão dos recursos hídricos utilizando Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) inovadoras que auxiliem no monitoramento da segurança hídrica. Este projeto faz parte do edital de políticas públicas, desenvolvido por pesquisadores da PUC-Campinas, USP de São Paulo e UNINOVE, em parceria com a Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

Na primeira etapa do projeto, levantamos as principais tecnologias inovadoras aplicadas na área de segurança hídrica a partir de uma revisão sistemática da literatura científica. Agora, nesta segunda etapa, estamos coletando as experiências de especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos para que possamos, na terceira e última etapa do projeto, selecionar que tecnologias são relevantes no desenvolvimento de nosso projeto experimental.

Devido sua experiência na área, gostaríamos de te convidar a responder ao formulário disponível no seguinte link:

link xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Uma alternativa seria participar de uma *entrevista online*, baseada no formulário acima, com duração de aproximadamente uma hora, realizada na Plataforma TEAMS. Neste caso, pedimos a gentileza de nos informar sua disponibilidade para que possamos agendar um horário.

Em qualquer das alternativas, temos certeza de que a sua contribuição será muito importante para o projeto. Destacamos, ainda, que os dados coletados serão anonimizados a fim de preservar a privacidade dos entrevistados. Pedimos, por favor, que **responda a este e-mail informando se poderá participar e indicando sua preferência de participação**.

Desde já agradecemos a sua disponibilidade.
Atenciosamente

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3.3 Etapa 3 - Realização das entrevistas

As entrevistas foram conduzidas de forma remota, no período de abril de 2025 a março de 2026, utilizando um roteiro previamente elaborado (vide Apêndice 1). As entrevistas remotas envolvem o uso de imagem e voz, sendo que esses ou outros dados pessoais que possam identificar os participantes não serão divulgados em hipótese nenhuma, assegurando a total confidencialidade dos dados.

O contato foi realizado pela plataforma Microsoft Teams, disponibilizada pela PUC-Campinas, com gravação de áudio e/ou vídeo. Alternativamente, os participantes puderam responder por meio de formulário eletrônico via Google Forms, possibilitando a leitura das

perguntas e o registro de suas respostas em momento oportuno. As entrevistas auxiliaram no diagnóstico do que existe de tecnologias inovadoras e o que está sendo desenvolvido para monitorar a segurança hídrica de bacias hidrográficas, entre outros pontos constantes do roteiro.

3.3.4 Etapa 4 - Transcrição das entrevistas

As entrevistas realizadas foram transcritas integralmente, preservando a fidedignidade dos relatos. As informações coletadas e transcritas são armazenadas em meio digital, de forma sigilosa e confidencial, sob responsabilidade da pesquisadora. Esses registros serão mantidos pelo período máximo de cinco anos a contar do término da pesquisa, sendo posteriormente descartados. As transcrições terão finalidade exclusivamente científica, não sendo utilizadas para outros fins. O acesso aos arquivos digitais será restrito à pesquisadora responsável (ou equipe devidamente autorizada), assegurando o controle ético das informações.

Para preservar a identidade e a privacidade dos participantes, seus nomes e outras informações que possam identificá-los não serão divulgados em nenhum momento da pesquisa. Por outro lado, serão apresentadas as instituições em que atuam e os cargos ou funções que exercem, pois essas informações são importantes para compreender a experiência e a atuação dos especialistas entrevistados. Dessa forma, a identidade dos participantes será mantida em sigilo, garantindo a confidencialidade das informações pessoais e o respeito aos princípios éticos da pesquisa.

3.3.5 Etapa 5 - Análise dos dados

Os dados coletados foram analisados quantitativamente e qualitativamente, destacando percepções sobre a viabilidade técnica, operacional e a efetividade das soluções tecnológicas discutidas.

Para a análise das entrevistas, inicialmente foram elaboradas planilhas destinadas à organização e sistematização das respostas obtidas junto aos especialistas. As informações foram organizadas de forma individualizada para cada uma das questões do roteiro de entrevista, de modo que cada planilha ou conjunto de dados reunisse a pergunta apresentada e todas as respostas correspondentes dos participantes. Esse procedimento possibilitou a

organização integral do material coletado e facilitou a visualização das diferentes percepções apresentadas pelos especialistas em relação aos temas investigados.

A tabulação das informações foi realizada considerando cada questão separadamente, para cada pergunta, foram reunidas todas as respostas dos participantes, mantendo-se o conteúdo apresentado pelos especialistas e posteriormente, realizando a leitura comparativa do conjunto das respostas. Essa etapa permitiu identificar os principais elementos mencionados pelos entrevistados, bem como aspectos recorrentes, convergentes ou divergentes entre os diferentes depoimentos. Dessa forma, a análise não se restringiu à apresentação individual das respostas, mas buscou identificar padrões presentes no conjunto das manifestações.

Na sequência, foi realizada uma análise por similaridade das respostas. Nesse procedimento, respostas que apresentavam conteúdos, ideias ou percepções semelhantes foram agrupadas em categorias ou conjuntos temáticos, considerando o sentido expresso pelos participantes. Assim, mesmo quando os especialistas utilizaram termos ou formas de expressão diferentes para responder à mesma questão, suas respostas puderam ser reunidas quando apresentavam conteúdo semelhante. Esse processo permitiu sintetizar as informações sem desconsiderar a diversidade de percepções identificada nas entrevistas.

Após o agrupamento por similaridade, foram contabilizadas as ocorrências das respostas ou categorias identificadas, possibilitando verificar a frequência com que determinados aspectos foram mencionados pelos especialistas. Quando pertinente, essas ocorrências foram convertidas em valores percentuais, considerando o número de participantes que apresentaram determinada percepção em relação ao total de entrevistados. Os resultados foram então organizados em tabelas e/ou representações gráficas, permitindo uma visualização mais clara das tendências observadas para cada questão analisada.

Esse procedimento foi aplicado de maneira sistemática ao conjunto das questões que compuseram o instrumento de entrevista. Dessa forma, a análise possibilitou transformar o conjunto de respostas individuais em resultados organizados e comparáveis, evidenciando as percepções predominantes entre os especialistas e, ao mesmo tempo, preservando a diversidade de posicionamentos identificada. A partir dessa sistematização, os resultados de cada questão foram apresentados e posteriormente interpretados em relação aos objetivos da pesquisa, especialmente quanto à aplicabilidade, ao potencial e às limitações das Tecnologias da Informação e Comunicação para o monitoramento da segurança hídrica.

3.3.6 Etapa 6 - Apresentação dos resultados

Foram observados nos relatos as tecnologias e indicadores atualmente aplicados e sua importância no contexto da segurança hídrica. A análise dos resultados consistiu em relacionar as tecnologias inovadoras e aplicações encontradas na literatura científica, na pesquisa documental, e nas entrevistas com os especialistas.

3.4 Descrição e Caracterização dos Participantes da Pesquisa

A caracterização dos participantes da pesquisa evidencia a diversidade de formações acadêmicas e experiências profissionais relacionadas à gestão ambiental e aos recursos hídricos. Entre os 33 entrevistados participantes do estudo, destacam-se áreas como Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Gestão Ambiental, Ciências Biológicas, Química, Ecologia, Sociologia, Comunicação, Administração e Engenharia Industrial, demonstrando o caráter interdisciplinar da temática da segurança hídrica e a necessidade de integração entre diferentes áreas do conhecimento. Os participantes foram selecionados por atuarem diretamente em projetos, pesquisas, gestão ou operações vinculadas à segurança hídrica e à gestão de bacias hidrográficas, incluindo membros de comitês de bacia, gestores públicos, pesquisadores e demais atores envolvidos com a temática.

A seleção considerou critérios como experiência profissional, representatividade e contribuição técnica para o estudo. Embora a pesquisa previsse a realização de 50 entrevistas, foram efetivamente realizadas 33 entrevistas dentro do período estabelecido para a coleta de dados.

No Quadro 6 são apresentados os perfis dos participantes para as entrevistas realizadas com profissionais divididos em quatro grupos principais: operadores de serviços de água e saneamento, membros de comitês e agências de recursos hídricos, pesquisadores nacionais e pesquisadores internacionais.

Quadro 6 - Perfil dos participantes

GRUPO DE PARTICIPANTES	INSTITUIÇÕES/ORGANIZAÇÕES	CONTRIBUIÇÕES
Operadores de serviços de água e saneamento	Empresas de saneamento públicas ou privadas do setor.	Fornecem uma visão prática e operacional sobre os desafios e soluções no uso, tratamento e distribuição da água.

Comitês e Agências de Recursos Hídricos	Comitês de Bacias Hidrográficas; Agências de Recursos Hídricos em nível estadual ou regional.	Oferecem insights sobre políticas públicas, governança, instrumentos de gestão e estratégias regionais voltadas à segurança hídrica.
Pesquisadores Nacionais	Universidades, centros de pesquisa e instituições acadêmicas no Brasil.	Contribuem com conhecimentos técnicos, estudos de caso e tendências científicas relacionadas à segurança hídrica, tecnologias aplicadas e gestão de bacias hidrográficas.
Pesquisadores Internacionais	Universidades, centros de pesquisa e organizações estrangeiras especializadas em recursos hídricos.	Trazem experiências internacionais, identificam boas práticas e sugerem possibilidades de adaptação ao contexto brasileiro.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A participação na entrevista foi voluntária e o participante não teve nenhuma compensação financeira.

4 PERCEPÇÃO DE ESPECIALISTAS SOBRE O USO DE TIC PARA O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA HÍDRICA

O presente capítulo apresenta a contribuição científica da pesquisa, evidenciando os dados obtidos por meio das entrevistas realizadas com especialistas da área de gestão de recursos hídricos, bem como a análise dos resultados. O foco central consiste em compreender como as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) são aplicadas no monitoramento da segurança hídrica e identificando suas contribuições, limitações e suas potencialidades na gestão dos recursos hídricos.

A análise integra evidências empíricas provenientes das entrevistas com os achados da revisão sistemática da literatura, permitindo uma abordagem articulada entre teoria e prática. A partir disso, são destacadas as principais tecnologias utilizadas no monitoramento de recursos hídricos e os desafios associados à sua implementação.

A pesquisa foi desenvolvida com especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos, onde foram aplicados o roteiro de entrevista. Portanto a pesquisa contou com a participação de 33 especialistas, sendo selecionados com base em critérios de experiência profissional, atuação institucional e alinhamento com o tema da pesquisa e cuja identidades foram anonimizadas para garantir confidencialidade. Dos entrevistados, 28 são especialistas brasileiros e 5 especialistas estrangeiros.

A análise dos dados das entrevistas foi realizada de forma qualitativa e quantitativa, estruturada em três etapas complementares: categorização temática das respostas, síntese quantitativa e análise interpretativa.

Na categorização temática foi feito a leitura exploratória de todo o material obtido nas entrevistas, com o objetivo de identificar informações relevantes, temas recorrentes e conteúdo que se destacavam ao longo das falas dos participantes. Durante a leitura, as respostas dos especialistas foram examinadas e organizadas em categorias temáticas construídas a partir da repetição de ideias, da semelhança de significados e da relevância em relação aos objetivos da pesquisa.

A síntese quantitativa foi apresentada em termos percentuais, com o objetivo de evidenciar a distribuição e a frequência das categorias identificadas em cada bloco temático. A partir da análise das 33 entrevistas realizadas, os dados foram sistematicamente organizados em tabelas e representações gráficas, o que possibilitou uma visualização mais clara e

estruturada das respostas predominantes, bem como das principais tendências observadas entre os participantes.

A análise interpretativa dos dados constitui na compreensão dos significados das respostas, investigando conexões, implicações e possíveis explicações para os padrões identificados. Essa análise das informações coletadas, permitindo uma reflexão crítica e integrada acerca dos fenômenos estudados, especialmente em temas relacionados à segurança hídrica, à gestão de recursos hídricos e às inovações tecnológicas aplicadas ao setor.

O processo teve como base os seis blocos temáticos do roteiro de entrevistas semiestruturadas, permitindo uma organização sistemática e aprofundada das informações coletadas conforme descrição a seguir: Identificação dos participantes; Experiência profissional; Contexto geral gestão dos recursos hídricos e segurança hídrica; Perguntas sobre as tecnologias inovadoras; Perguntas sobre os indicadores; e por fim Perspectivas futuras e comentários finais.

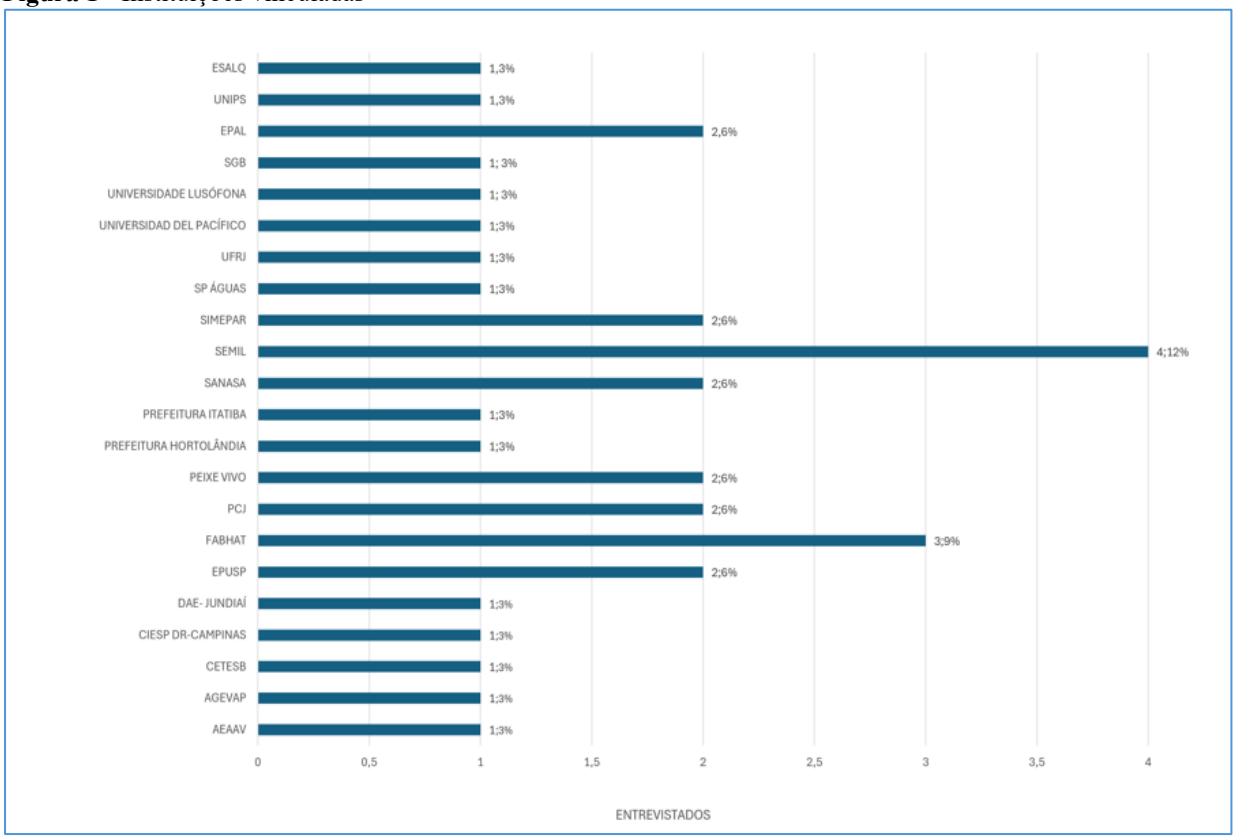
4.1 Identificação dos participantes

O primeiro bloco refere-se à identificação dos participantes, contemplando aspectos ***"Qual é o seu nome, a instituição que você vinculada, cargo e função desempenhada e formação acadêmica?".*** Essa etapa é fundamental para conhecer o perfil dos entrevistados e compreender a diversidade de experiências e áreas de atuação presentes na pesquisa. Os participantes atuam na área de recursos hídricos, realizando tarefas que incluem a gestão, o monitoramento e o planejamento dos recursos hídricos. Esses especialistas estão associados a instituições tanto do setor público quanto do privado, colaborando de maneira conjunta para garantir a segurança hídrica e promover a utilização sustentável dos recursos.

A Figura 1 apresenta a distribuição das instituições vinculadas aos participantes da pesquisa, evidenciando a diversidade de órgãos públicos, universidades, empresas de saneamento, instituições de pesquisa e entidades relacionadas à gestão de recursos hídricos e à segurança hídrica.

Portanto, a representação gráfica permite visualizar determinadas instituições e as experiências institucionais dos entrevistados, contribuindo para uma análise mais abrangente sobre os diferentes contextos de atuação profissional no setor hídrico.

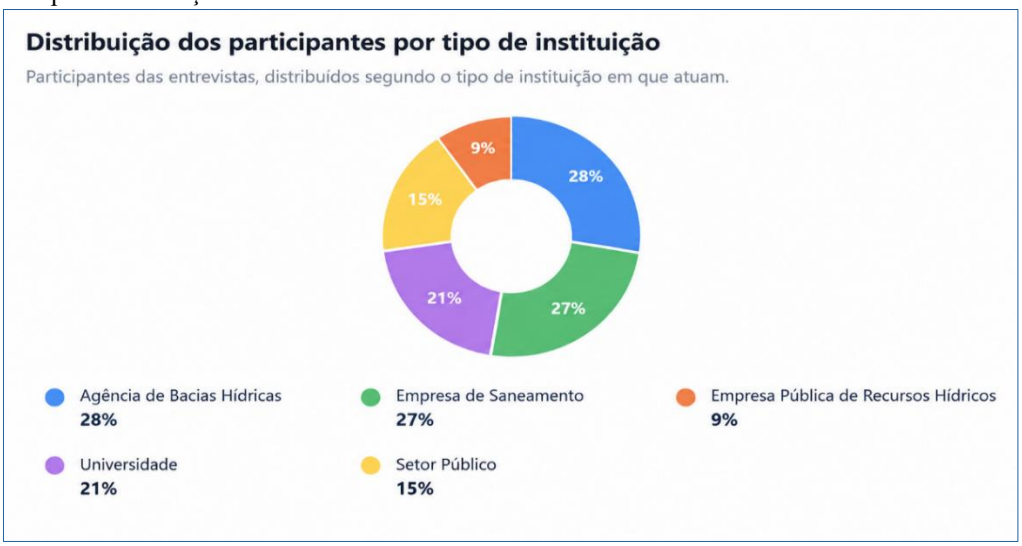
Figura 1 - Instituições vinculadas



Fonte: Elaboração própria (2026).

Conforme a Figura 2, apresenta-se a distribuição dos participantes segundo o tipo de instituição em que atuam. Verifica-se que 28% dos respondentes estão vinculados a agências de bacias hídricas, e empresas de saneamento com 27%, universidades com 21%, empresas públicas de recursos hídricos 9%, o setor público com 15%.

Figura 2 - Tipo de instituições

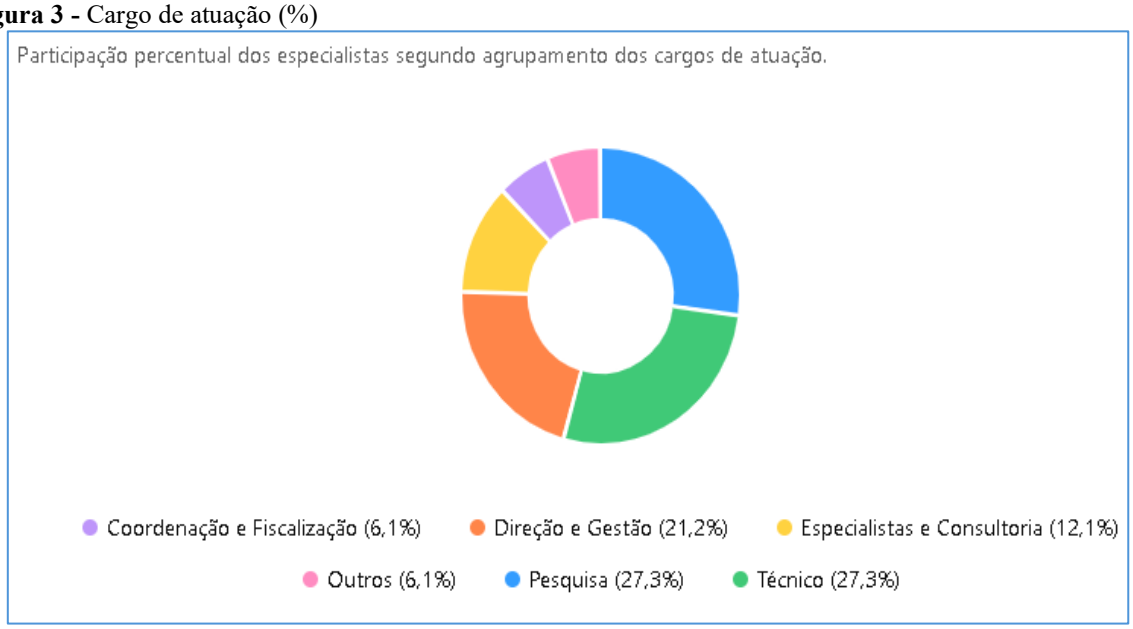


Fonte: Elaboração própria (2026).

De modo geral, os dados demonstram a presença de diferentes setores institucionais nas entrevistas, com predominância de profissionais vinculados às áreas de gestão de recursos hídricos e saneamento, ao mesmo tempo em que se observa uma participação relevante de representantes acadêmicos e do setor público, contribuindo para uma visão diversificada sobre a temática analisada.

No que se refere aos cargos de atuação, os participantes desempenham uma ampla variedade de funções, que vão desde posições técnicas e operacionais, como técnicos, analistas e fiscais ambientais, até funções estratégicas e de liderança, como diretores, coordenadores, gerentes e assessores. E se destacam profissionais atuando como pesquisadores, consultores e especialistas em recursos hídricos, evidenciando a integração entre prática, gestão e produção de conhecimento (Figura 3).

Figura 3 - Cargo de atuação (%)



Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados evidenciam que os especialistas entrevistados atuam predominantemente nas áreas de Pesquisa e Técnica ambas correspondendo a 27,3% em conjunto essas categorias perfazem 54,6% dos participantes, indicando uma expressiva concentração de profissionais diretamente envolvidos na produção de conhecimento, no desenvolvimento de estudos e na execução de atividades técnicas no âmbito da gestão dos recursos hídricos.

A categoria Direção e Gestão representa 21,2% revelando a presença significativa de profissionais envolvidos em processos de planejamento estratégico, coordenação institucional e tomada de decisão. As atividades relacionadas a Especialistas e Consultoria correspondem a

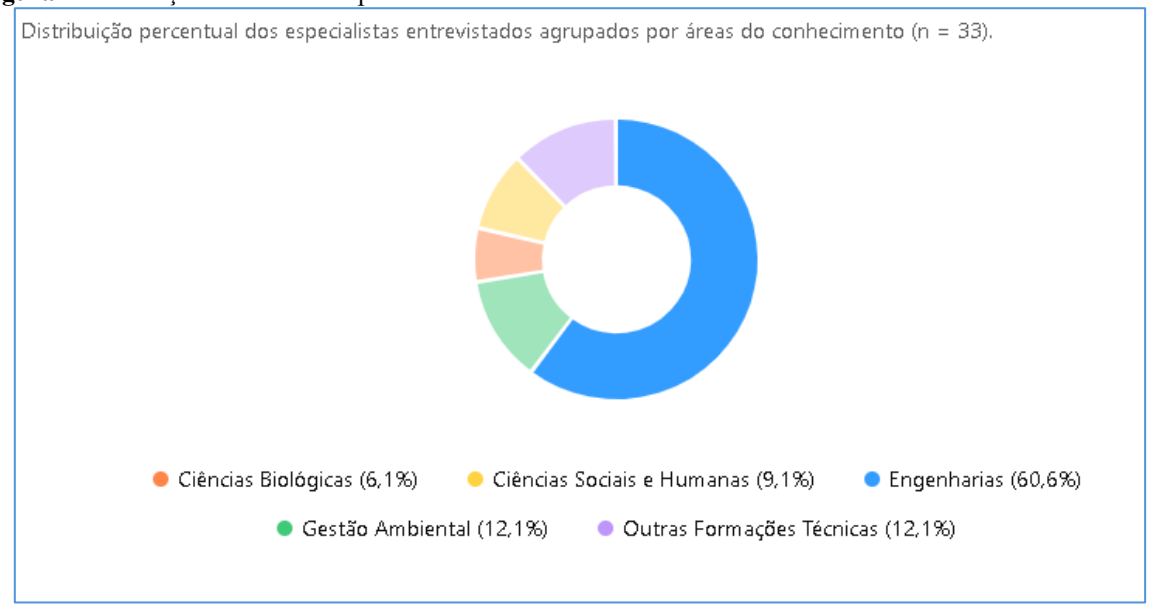
12,1%, enquanto as funções de Coordenação e Fiscalização e Outros cargos apresentam, cada uma participação de 6,1%.

Essa distribuição destaca a diversidade dos envolvidos e enfatiza a natureza multidisciplinar da gestão hídrica. Essa estrutura requer a integração de habilidades técnico-científicas, capacidades na gestão estratégica, conhecimento em consultoria e atuação institucional, fundamentais para lidar com os desafios relacionados à segurança hídrica e à gestão dos recursos hídricos.

Com o intuito de apresentar, de forma sistemática e sinteticamente visual a distribuição das formações acadêmicas dos especialistas, procedeu-se à elaboração de um gráfico do tipo pizza, no qual são representadas as respectivas frequências relativas de cada área de formação identificada ao longo das entrevistas.

A Figura 4 evidencia a distribuição percentual da formação acadêmica dos 33 participantes da pesquisa, destacando-se a predominância de formações vinculadas a áreas técnicas e ambientais, o que corrobora a natureza interdisciplinar e aplicada do campo investigado.

Figura 4 - Formações Acadêmicas por áreas do conhecimento



Fonte: Elaboração própria (2026).

Observa-se uma predominância expressiva de especialistas das Engenharias, que representam 60,6% da amostra. Esse resultado evidencia a forte presença de profissionais com formação técnica voltada ao planejamento, infraestrutura, saneamento, recursos hídricos e gestão ambiental. Em seguida aparecem a Gestão Ambiental (12,1%) e as Outras Formações

Técnicas (12,1%), demonstrando a contribuição de diferentes áreas para a compreensão dos desafios relacionados à segurança hídrica. As Ciências Sociais e Humanas correspondem a 9,1% dos participantes, enquanto as Ciências Biológicas representam 6,1%, reforçando o caráter multidisciplinar da gestão dos recursos hídricos.

De forma geral, a distribuição indica que a pesquisa reuniu especialistas com formações complementares, capazes de contribuir tanto com aspectos técnicos quanto ambientais, sociais e institucionais da gestão hídrica.

4.2 Experiência profissional

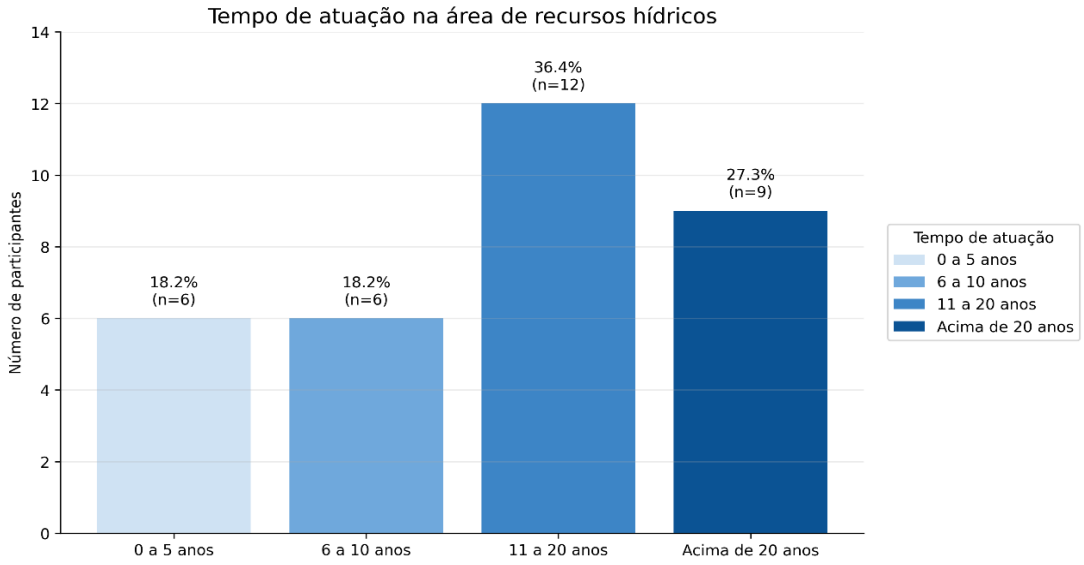
As informações das experiências profissional apresentadas foram obtidas a partir das 33 entrevistas realizadas de forma on-line e organizadas em quatro eixos de análise:

- Há quanto tempo você atua na área de segurança hídrica e gestão de recursos hídricos?
- Em qual região ou bacia hidrográfica você atua principalmente?
- Com quais projetos ou programas relacionados à gestão de bacias e segurança hídrica você trabalha atualmente?

Portanto essa sistematização permitiu compreender o perfil profissional dos participantes e suas experiências na área de recursos hídricos.

Com o objetivo de identificar o tempo atuação dos participantes, foi elaborado a seguinte questão: ***"Há quanto tempo você atua na área de segurança hídrica e gestão de recursos hídricos ?"*** A Figura 5 apresenta os o tempo de atuação dos participantes na área de gestão de recursos hídricos.

Figura 5 - Tempo de atuação (%)



Fonte: Elaboração própria (2026).

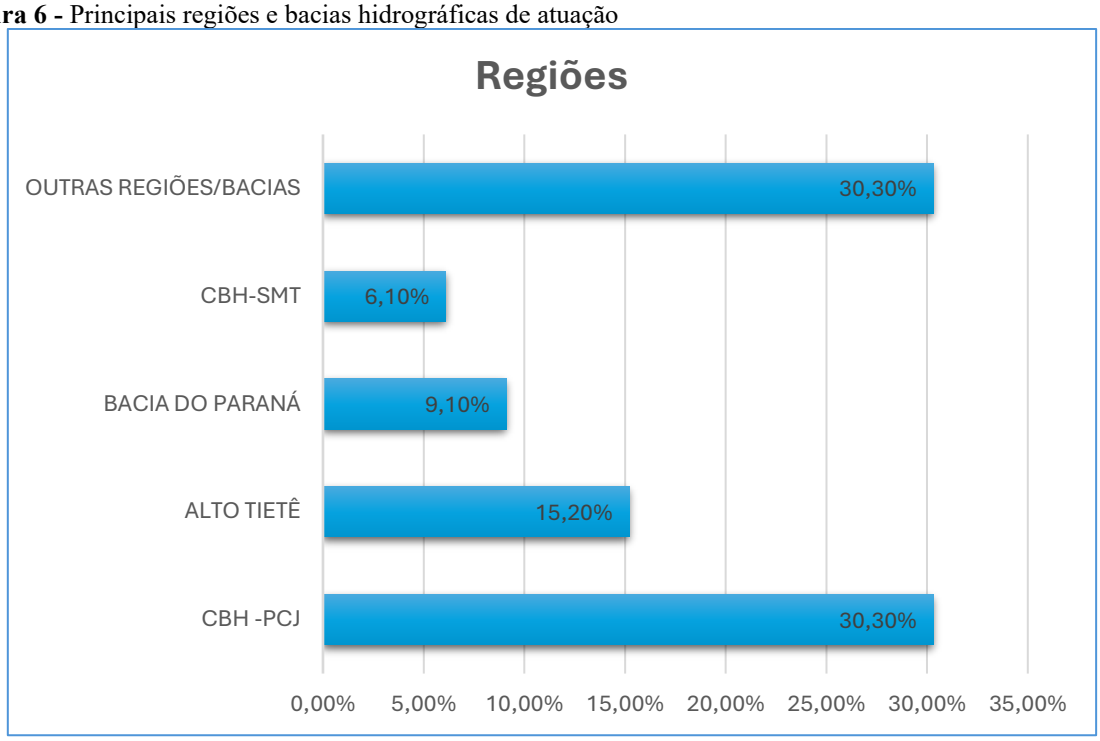
Referente ao tempo de atuação dos participantes demonstra que a maior concentração está na faixa de 11 a 20 anos (36,4%), seguida por profissionais com mais de 20 anos de atuação (27,3%). As faixas de 0 a 5 anos e de 6 a 10 anos apresentam igual representatividade, com 18,2% cada, indicando a presença tanto de profissionais experientes quanto de perfis mais recentes na área.

Com o objetivo de identificar a região de atuação dos participantes, foi elaborado a seguinte questão: ***"Em qual região ou bacia hidrográfica você atua principalmente?"***

As respostas foram fornecidas com base na experiência profissional e no contexto de atuação de cada participante, permitindo mapear a distribuição geográfica e institucional dos respondentes.

A partir dessas informações, foi possível organizar os dados e apresentar em um gráfico a Figura 6 evidenciando as principais regiões e bacias hidrográficas de atuação dos participantes.

Figura 6 - Principais regiões e bacias hidrográficas de atuação



Fonte: Elaboração própria (2026).

O gráfico evidencia a predominância dos participantes com atuação no Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ) e em outras regiões/bacias, ambos representando 30,3% da amostra. Em seguida, destaca-se a Bacia do Alto Tietê (15,2%), seguida pela Bacia do Paraná com 9,1% cada. O Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) apresenta a participação entre as categorias analisadas com 6,1%.

De modo geral, os resultados demonstram uma concentração de especialistas atuantes em Agência de Águas do Estado de São Paulo, especialmente nas regiões CBH-PCJ e Bacia do Alto Tietê, refletindo a relevância dessas áreas para a gestão dos recursos hídricos e para os debates relacionados à segurança hídrica.

A categoria "Outras regiões/bacias" engloba especialistas com atuação na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF), Bacia do Paraíba do Sul, Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape, Bacia Hidrográfica da Baía da Ilha Grande (CBH-BIG), Turvo Grande (CBH-TG), sub-bacia do Ribeirão Jacaré, Bacia Hidrográfica do Atlântico Sul, Bacia Hidrográfica do Atlântico Sudeste, além de experiências em contextos internacionais, como as Bacias do Pacífico, Amazonas e Lago Titicaca, e regiões de Lisboa e Vale do Tejo, em Portugal. Essa diversidade de áreas de atuação contribui para ampliar a abrangência das

percepções dos especialistas, incorporando diferentes realidades hidrológicas, institucionais e de governança da água.

De maneira geral, nota-se uma significativa presença de profissionais que trabalham em bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, especialmente nas regiões do CBH-PCJ e do Alto Tietê, que enfrentam importantes desafios relacionados à disponibilidade de água, ao crescimento das cidades e à administração dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, a participação de especialistas de outras regiões, como as bacias dos rios São Francisco, Paraíba do Sul, Ribeira de Iguape, além de experiências em contextos internacionais, como Portugal, Pacífico, Amazonas e Lago Titicaca, enriquece a pesquisa ao trazer diferentes perspectivas e experiências de gestão da água.

Com o objetivo de identificar os projetos e programas desenvolvidos na área de gestão de bacias hidrográficas e segurança hídrica, foi elaborado a seguinte questão***: "Com quais projetos ou programas relacionados à gestão de bacias e segurança hídrica você trabalha atualmente?".***

A análise das respostas fornecidas pelos especialistas durante as entrevistas sobre os programas e projetos em que estão envolvidos revela uma ampla diversidade de iniciativas voltadas à gestão das bacias hidrográficas, à segurança hídrica.

Com o objetivo de sintetizar as principais ações mencionadas pelos participantes, o Quadro 7 apresenta um resumo dos programas, projetos e áreas de atuação identificados nas entrevistas, evidenciando a variedade de iniciativas desenvolvidas em diferentes contextos institucionais e territoriais. Isso abrange desde o acompanhamento hidrológico até o planejamento ambiental, saneamento, governança e adaptação às mudanças climáticas. Embora haja uma variedade de tópicos, alguns deles surgem repetidamente e se evidenciam por sua importância estratégica, abrangência geográfica e capacidade de influenciar na gestão dos recursos hídricos.

Quadro 7 - Projetos e programas citados pelos especialistas

CATEGORIA	**PRINCIPAIS PROJETOS E PROGRAMAS CITADOS**	**OBJETIVO PRINCIPAL**
Planejamento de Bacias Hidrográficas	Plano das Bacias PCJ; Plano da Bacia do Sorocaba; Revisão dos Planos de Bacia; Integração dos Planos de Recursos Hídricos	Planejar o uso sustentável da água e definir prioridades de gestão
Monitoramento Hidrológico e Qualidade da Água	Rede Automática de Monitoramento da Qualidade das Águas; Sistema de Monitoramento Hidrológico das Bacias PCJ; Rede Hidrometeorológica Nacional;	Monitorar quantidade e qualidade da água em tempo real

	Sistemas de Alerta Hidrológicos	
Sistemas de Suporte à Decisão	Sistema de Suporte à Decisão das Bacias PCJ; Sistemas de Informações para Recursos Hídricos	Apoiar decisões técnicas e operacionais na gestão da água
Proteção de Mananciais e Segurança Hídrica	Política de Mananciais; Gestão do Sistema Cantareira; Recuperação de áreas contaminadas; Redução de perdas no abastecimento	Garantir disponibilidade e qualidade da água para abastecimento
Saneamento e Resíduos Sólidos	PMSB Campinas – Plano 2030 SANASA; Programa de Saneamento e Resíduos; Gestão de resíduos sólidos em bacias	Melhorar o saneamento e reduzir a poluição hídrica
Conservação e Recuperação Ambiental	Reflorestamento; Conservação do solo; Recuperação hidroambiental; Plantação de árvores e coleta de resíduos	Recuperar áreas degradadas e proteger ecossistemas aquáticos
Gestão de Riscos e Eventos Extremos	Programa de Gerenciamento de Riscos do CEIVAP; Previsões hidrológicas e hidrodinâmicas	Prevenir impactos de secas, enchentes e eventos climáticos extremos
Mudanças Climáticas e Sustentabilidade	Projetos financiados pelo CONCYTEC; Estudos sobre impactos climáticos; ODS 17 e cooperação internacional	Avaliar impactos ambientais e promover adaptação climática
Governança e Cooperação Institucional	Projetos com ANA, SABESP, SANASA, Sanepar, Comitês PCJ e CEIVAP	Integrar instituições e fortalecer a governança da água
Tecnologia e Inovação na Gestão da Água	Sistemas gerenciais de informações; Instrumentação hidrológica; Modelagem hidráulica	Modernizar o monitoramento e a gestão hídrica

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os projetos e programas citados pelos especialistas mostram que a gestão da água depende de várias ações que trabalham juntas, os principais destaques estão os planos de bacias, que ajudam no planejamento e na definição de prioridades para o uso da água. Também aparecem os sistemas de monitoramento, importantes para acompanhar a qualidade da água e prever problemas como secas e enchentes. Outro ponto importante são os projetos de proteção de mananciais e segurança hídrica, que buscam garantir água em quantidade e qualidade para a população. As ações de saneamento e gestão de resíduos também são relevantes, pois ajudam a reduzir a poluição dos rios e melhorar a saúde pública. Além disso, a participação de comitês, agências e diferentes instituições mostra que a gestão da água precisa de cooperação e trabalho conjunto. Por fim, os projetos ligados às mudanças climáticas demonstram a preocupação em preparar os sistemas hídricos para enfrentar eventos extremos e futuros desafios ambientais.

4.3 Contexto geral da segurança hídrica

As entrevistas realizadas evidenciam diferentes percepções dos participantes sobre a situação atual da segurança hídrica em suas regiões de atuação, abrangendo aspectos

relacionados à escassez hídrica, monitoramento, infraestrutura, governança, eventos extremos e uso de tecnologias inovadoras. A partir da análise do corpus textual foi possível identificar temas recorrentes associados à gestão das bacias hidrográficas, aos impactos das mudanças climáticas e ao papel das (TICs) na modernização da gestão dos recursos hídricos.

Com o objetivo de identificar o entendimento por segurança hídrica dos participantes, foi elaborado a seguinte questão**: *"O que você entende por segurança hídrica e gestão de recursos hídricos?".***

As respostas dos participantes foram formuladas com base em suas próprias palavras, experiências profissionais e vivências relacionadas à gestão e ao uso dos recursos hídricos. Nota-se que os depoimentos exibem uma variedade de níveis de entendimento, os quais vão desde enfoques mais técnicos, ancorados na prática profissional, até visões mais amplas ou contextualizadas.

A partir das respostas fornecidas pelos participantes, é possível organizar um quadro de percepções dos participantes que sintetiza como eles compreendem a segurança hídrica destacando os principais elementos presentes nos discursos, (Quadro 8).

Quadro 8 - Síntese Interpretativa das Percepções dos especialistas sobre Segurança Hídrica

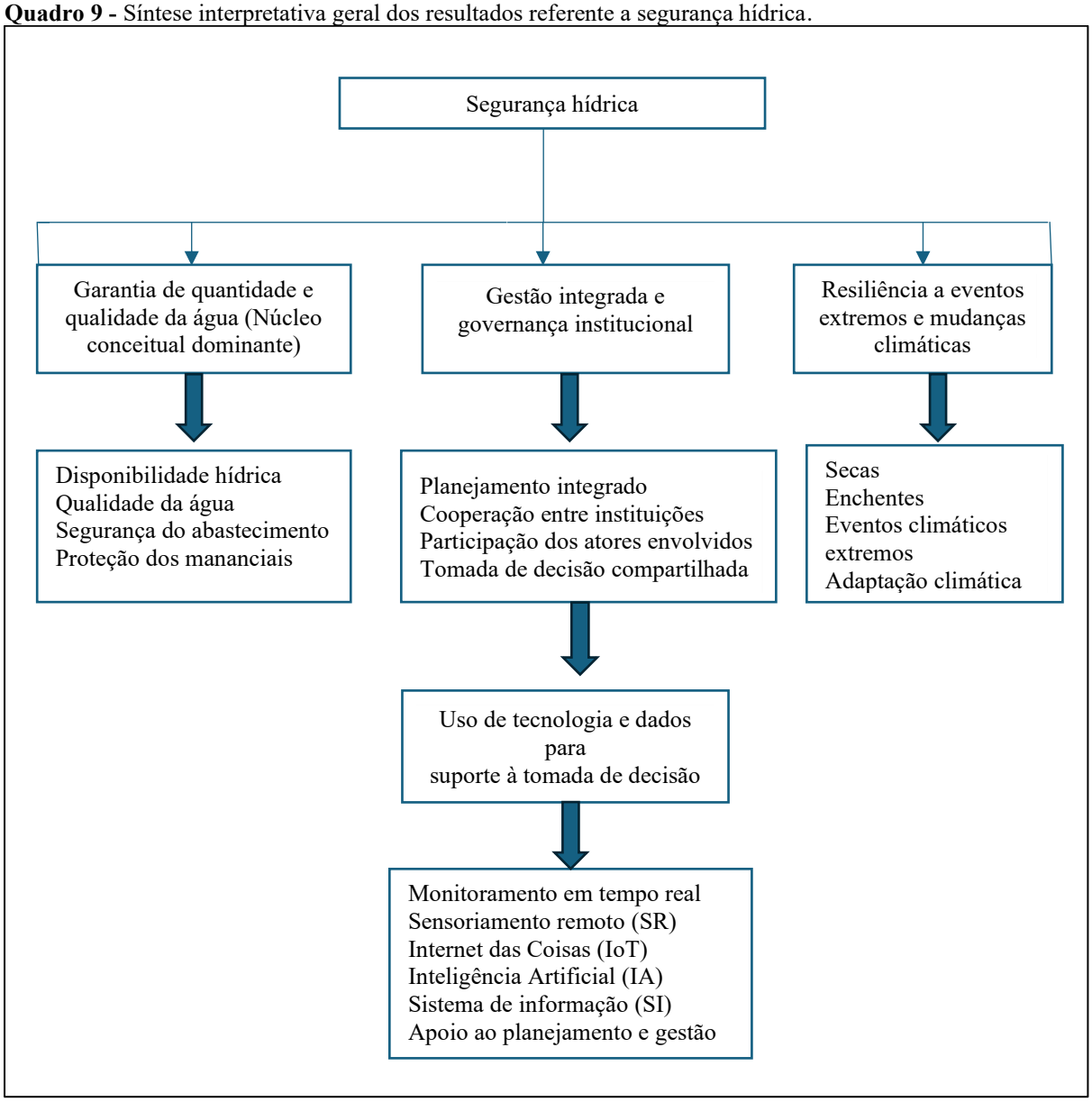
SÍNTESE INTERPRETATIVA	**ELEMENTOS-CHAVE**
Associada à garantia de água em quantidade e qualidade adequadas para diferentes usos e populações.	Quantidade e qualidade da água; abastecimento; acesso universal; distribuição
Incorporação do princípio do direito humano à água e da responsabilidade de assegurar recursos para as futuras gerações.	Direito humano à água; garantia para futuras gerações; equidade
Compreensão da segurança hídrica como resultado de sistemas de gestão integrados, com articulação institucional e planejamento por bacia hidrográfica.	Gestão integrada; governança; políticas públicas; planejamento territorial
Segurança hídrica associada à capacidade adaptativa frente a eventos extremos e incertezas climáticas.	Secas, enchentes, eventos extremos; planos de contingência; adaptação climática
Reconhecimento da dependência entre segurança hídrica e integridade ecológica dos sistemas naturais.	Conservação de mananciais; desmatamento; degradação ambiental; qualidade da água
Ênfase na competição entre usos e na intensificação de conflitos em contextos de escassez.	Conflitos pelo uso da água; escassez; distribuição desigual
Identificação de limitações estruturais como fator crítico para a segurança hídrica.	Saneamento básico; infraestrutura hídrica; sistemas de abastecimento
Forte valorização de instrumentos tecnológicos para suporte à decisão e gestão baseada em dados.	Monitoramento hidrológico; qualidade da água; automação; modelagem e dados
Necessidade de múltiplas fontes e estratégias para garantir a oferta hídrica em cenários de pressão.	Diversificação da matriz hídrica; reservação; fontes alternativas

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados sugerem que a segurança hídrica é percebida pelos especialistas como um conceito multidimensional, sustentado pela garantia da disponibilidade e qualidade da água, fortalecido por mecanismos de governança e gestão integrada, apoiado pela capacidade de adaptação aos eventos extremos e potencializado pelo uso de tecnologias inovadoras e dados para a tomada de decisão.

Dessa forma, o Quadro 9 apresenta uma visão integrada dos elementos mais recorrentes nas percepções dos especialistas, contribuindo para a compreensão das relações existentes entre os diferentes componentes que sustentam a segurança hídrica e orientam as estratégias de gestão dos recursos hídricos.

Quadro 9 - Síntese interpretativa geral dos resultados referente a segurança hídrica.



Fonte: Elaboração própria (2026).

De maneira geral, os participantes ligam a segurança hídrica à garantia de que a água esteja disponível em quantidades e qualidades adequadas, além de serem capazes de lidar com situações extremas e garantir o fornecimento. Por outro lado, a administração de recursos hídricos é vista como um conjunto de atividades focadas no planejamento, monitoramento, conservação e uso sustentável da água, levando em conta elementos como o controle de perdas, diversificação das fontes e a proteção do meio ambiente.

Com o objetivo de descrever a situação atual da área de atuação, foi elaborada a seguinte questão: ***"Como você descreveria a situação atual da área de atuação da segurança hídrica em sua região?".***

Os resultados foram apresentados por meio de Quadro 10, destacando os temas mais recorrentes mencionados pelos participantes, como eventos climáticos extremos, pressão sobre os recursos hídricos, necessidade de planejamento e desafios relacionados à infraestrutura hídrica.

Quadro 10 - Percepções dos especialistas sobre a situação atual

SITUAÇÃO ATUAL DA ÁREA DE ATUAÇÃO APONTADA PELOS ESPECIALISTAS
Eventos climáticos extremos e estiagens frequentes
Pressão crescente sobre os recursos hídricos
Necessidade de investimentos em infraestrutura hídrica
Problemas relacionados à qualidade da água
Fragilidade na gestão e governança hídrica
Importância da sustentabilidade e preservação ambiental
Necessidade de tecnologias e inovação
Vulnerabilidade hídrica e desigualdade no acesso à água

Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise demonstra que os especialistas enxergam a segurança hídrica como um assunto que gera grandes preocupações e que está ligado aos eventos climáticos extremos. As secas prolongadas, a irregularidade nas chuvas e as dificuldades no fornecimento de água foram identificadas como os principais obstáculos pelos entrevistados. Muitos dos participantes também destacaram a crescente pressão sobre os recursos hídricos, que está relacionada ao aumento da população, à urbanização e à crescente demanda por água. Os especialistas acreditam ser essencial aprimorar o planejamento e a gestão integrada das bacias hidrográficas para aumentar a eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

Sendo assim no Quadro 11 os especialistas apontam o que deve ser realizado para mitigar os problemas que podem afetar a segurança hídrica:

Quadro 11 - Ações que podem melhorar a segurança hídrica

Ações
Fortalecer ações de adaptação climática, planejamento hídrico e prevenção;
Melhorar a gestão integrada e ampliar o uso racional da água;
Modernizar sistemas de abastecimento, ampliar reservatórios e reduzir perdas
Intensificar monitoramento, fiscalização e tratamento
Fortalecer comitês de bacia e integração entre instituições
Proteger mananciais e ampliar ações de conservação ambiental
Investir em monitoramento, indicadores e sistemas inteligentes
Desenvolver políticas públicas voltadas à segurança hídrica regional

Fonte: Elaboração própria (2026).

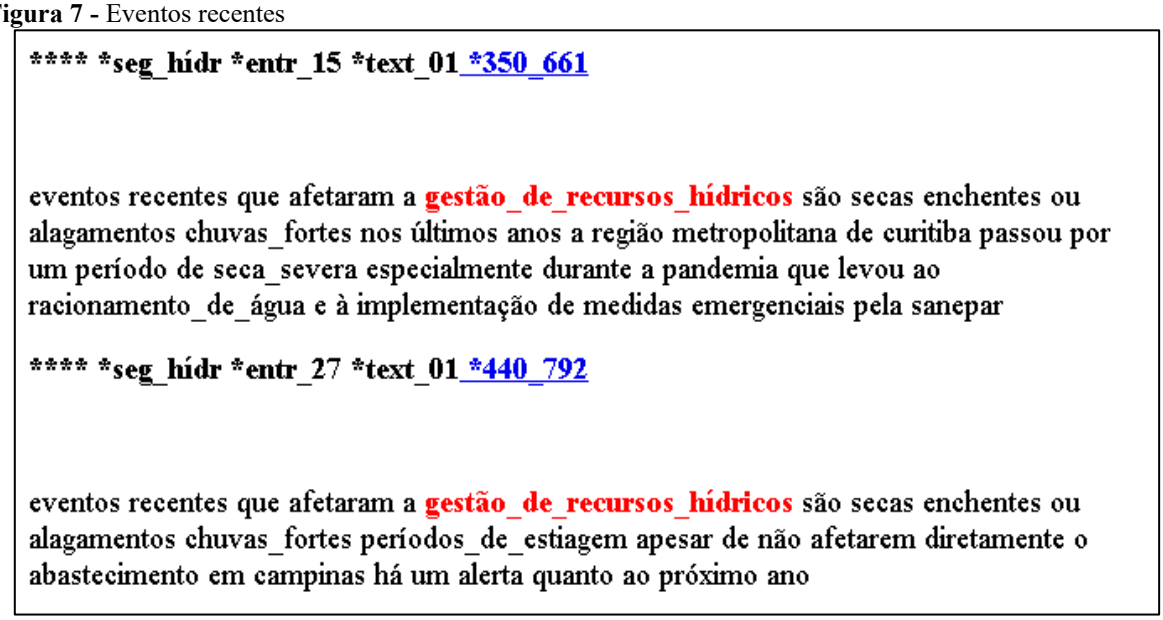
Outro ponto frequente nas respostas foi a urgência de investimentos em infraestrutura hídrica, focando especialmente em sistemas de abastecimento, reservatórios e na diminuição de perdas. Os participantes também expressaram preocupações sobre a qualidade da água, enfatizando a relevância do monitoramento e da fiscalização ambiental. Além disso, os especialistas evidenciaram a necessidade de promover a sustentabilidade, proteger as fontes de água e adotar tecnologias inovadoras para apoiar a gestão hídrica. Embora os especialistas reconheçam progressos na área, eles alertam que ainda persistem desafios significativos para assegurar maior resiliência e segurança hídrica nas regiões onde atuam.

A partir das entrevistas realizadas, percebeu-se que os especialistas demonstram uma preocupação constante com a situação atual da segurança hídrica, principalmente em relação às estiagens, mudanças climáticas e aumento da demanda por água. Também ficou evidente que muitos consideram necessário fortalecer o planejamento, a gestão dos recursos hídricos e os investimentos em infraestrutura.

Com o objetivo de descrever eventos recentes, foi elaborado a seguinte questão: ***"Quais eventos recentes (ex.: seca, enchente, poluição) afetaram a gestão dos recursos hídricos na sua região ?".***

Os participantes identificaram as secas como os eventos mais recorrentes com impacto nas regiões de atuação, sendo mencionadas por 75% dos respondentes. Isso destaca que a escassez hídrica representa atualmente um dos principais desafios para a segurança hídrica e para o abastecimento de água nas regiões estudadas. A Figura 7 apresenta alguns relatos.

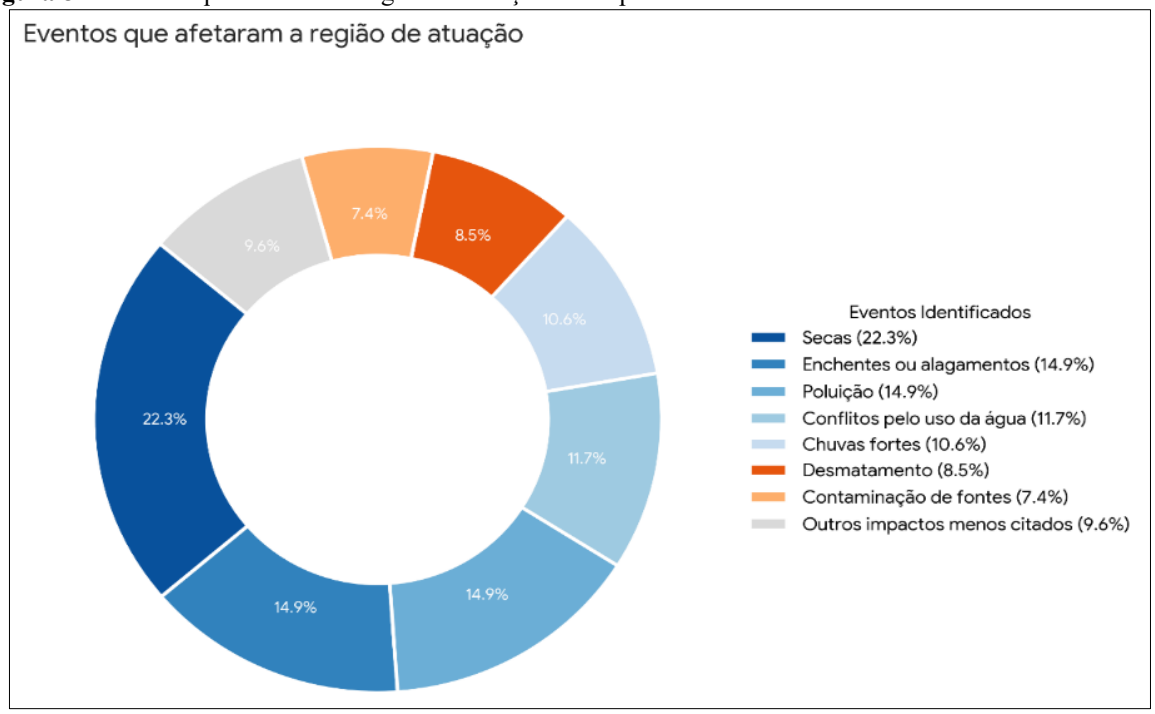
Figura 7 - Eventos recentes



Fonte: Elaboração própria (2026).

Esses dados reforçam a importância das discussões relacionadas às mudanças climáticas, à redução da disponibilidade hídrica e à necessidade de desenvolver estratégias de adaptação e planejamento hídrico. A Figura 8 apresenta o gráfico dos eventos que mais afetaram a região que atuam.

Figura 8 - Eventos que afetaram a região de atuação dos especialistas



Fonte: Elaboração própria (2026).

A Figura 8 demonstra que os principais eventos que afetaram a região de atuação dos especialistas estão relacionados aos extremos climáticos e à degradação ambiental:

- Seca aparece como o evento mais citado, representando 22,3% das respostas, evidenciando a forte preocupação com a redução da disponibilidade hídrica e os impactos no abastecimento de água;
- Enchentes ou alagamentos e a poluição foram os segundos fatores mais mencionados, ambos com 14,9%, mostrando que a região enfrenta problemas tanto relacionados à escassez quanto ao excesso de água;
- Conflitos pelo uso da água (11,7%) já é uma realidade bem presente na região.;
- Chuvas fortes (10,6%) também aparecem com destaque, indicando aumento da pressão sobre os recursos hídricos e dificuldades na gestão da água.
- Desmatamento (8,5%);

- Contaminação das fontes hídricas (7,4%), reforçam a percepção dos especialistas de que as ações humanas contribuem diretamente para o agravamento da insegurança hídrica.

Desse modo, foi elaborado o Quadro 12 com a percepção dos especialistas que apontam os eventos que impactaram a gestão dos recursos hídricos nas regiões em que atuam.

Quadro 12 - Eventos que impactaram a gestão de recursos hídricos

Eventos e aspectos relevantes	
Percepções dos especialistas	**Aspectos relevantes identificados**
Os especialistas destacam que os eventos extremos estão cada vez mais frequentes, com ocorrência simultânea de secas severas, enchentes, alagamentos, chuvas intensas e geadas.	Evidencia-se o agravamento dos impactos das mudanças climáticas sobre as bacias hidrográficas, aumentando a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento e da gestão hídrica.
As bacias hidrográficas vêm sofrendo fortes eventos de estiagem associados às pressões antrópicas, como expansão urbana, lançamento de efluentes e desmatamento.	A combinação entre crise climática e degradação ambiental compromete a oferta de água em quantidade e qualidade para os diversos usuários.
Foram identificados problemas recorrentes de poluição hídrica decorrentes do descarte irregular de lixo, esgoto doméstico, resíduos industriais e mineração.	A contaminação dos corpos hídricos e da camada freática foi apontada como um dos principais desafios à segurança hídrica regional.
Conflitos crescentes pelo uso da água em razão do crescimento populacional, industrial e agropecuário.	O aumento da demanda hídrica intensifica disputas entre abastecimento público, setor produtivo e conservação ambiental, sobretudo em regiões críticas como as bacias PCJ.
Eventos extremos recentes, como enchentes e alagamentos, causaram perdas humanas, danos materiais e prejuízos à infraestrutura urbana.	Necessidade de investimentos em barragens, reservatórios, sistemas de drenagem, monitoramento remoto e mitigação de riscos hidrológicos.
Diversas regiões enfrentaram secas severas, incluindo a crise hídrica de 2014/2015, períodos de racionamento e necessidade de transposição de água entre bacias.	A dependência de obras estruturais e sistemas de transposição demonstra a fragilidade hídrica das regiões com elevada demanda e baixa disponibilidade de água.
Os especialistas apontaram deficiência no monitoramento hidrológico e ausência de dados sobre vazão e precipitação.	A falta de informações técnicas compromete o planejamento hídrico, a previsão de eventos extremos e a tomada de decisão pelos gestores públicos.
Em algumas regiões, as chuvas intensas afetaram os sistemas de coleta de esgoto e as estruturas de captação de água.	A infraestrutura de saneamento mostrou-se vulnerável aos eventos climáticos extremos, exigindo adaptações e modernização dos sistemas urbanos.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A partir das entrevistas realizadas, percebe-se que a região vem enfrentando eventos recentes relacionados aos extremos, principalmente períodos de seca, enchentes e alagamentos. Também ficou evidente que problemas como poluição, desmatamento e contaminação das fontes de água agravam ainda mais a situação. De maneira geral, as respostas mostram uma preocupação crescente com a gestão e a disponibilidade dos recursos hídricos na região.

Com o objetivo de descrever os maiores desafios para a segurança hídrica, foi elaborado a seguinte questão: ***"Em sua opinião, quais são os maiores desafios para a segurança hídrica e a gestão de bacias hidrográficas em sua região ou área de atuação?".***

No geral, os especialistas apresentaram os principais desafios que as bacias hidrográficas enfrentam, com ênfase na intensificação dos eventos climáticos extremos, na frequência de secas e inundações, nas disputas pelo uso dos recursos hídricos e na qualidade da água. Sendo assim apresenta-se alguns trechos no qual os especialistas identificaram os maiores desafios para a segurança hídrica e a gestão de bacias hidrográficas, conforme apresentado a Figura 9.

Figura 9 - Maiores desafios

****** *seg_hídr *entr_08 *text_02 *266_518**

os maiores **desafios** para a segurança_hídrica escassez_de_recursos_hídricos contaminação_de_corpos_de_água infraestrutura_hídrica_insuficiente mudanças_climáticas e eventos_extremos outros desconhecimento da população dos mecanismos de gestão_dos_recursos_hídricos escassez_de_recursos_hídricos a disponibilidade_hídrica_per_capita nas bacias_pcj é inferior ao limite considerado como crítico pela onu

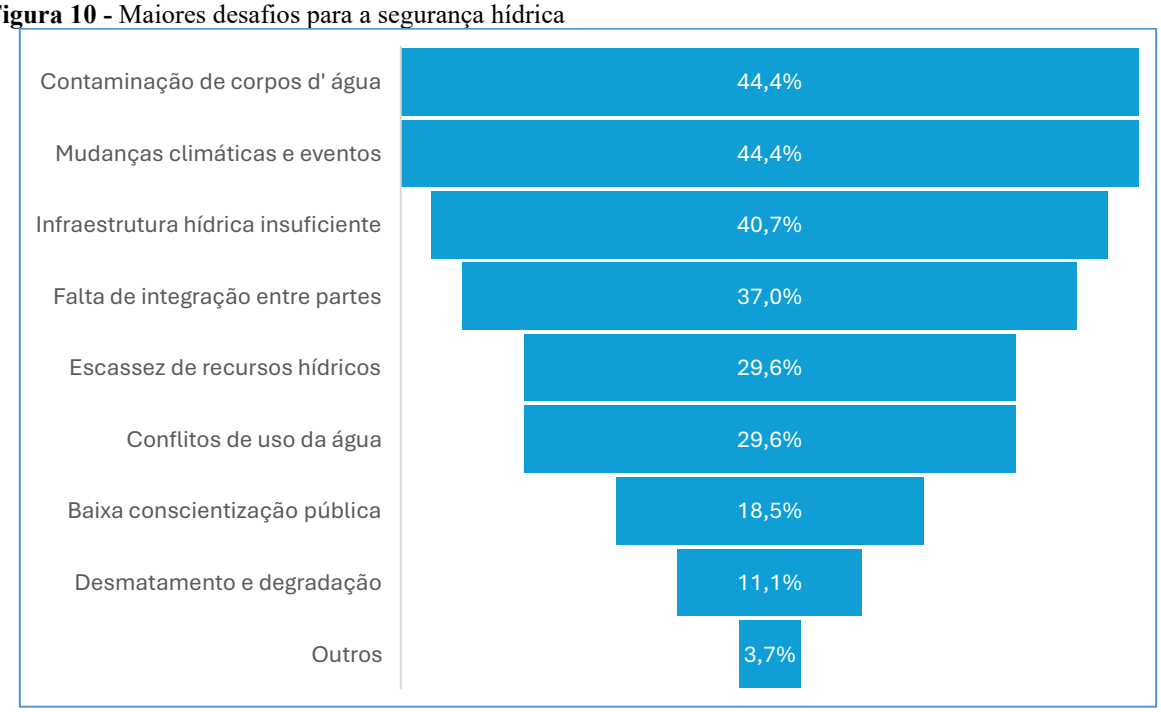
****** *seg_hídr *entr_02P *text_02 *134_263**

os maiores **desafios** vão me prender se para aquilo que eu já lhe disse que é a questão das perdas_de_água ou seja tem que haver efetivamente um investimento fortíssimo na redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento de água

Fonte: Elaboração própria (2026).

Com base nas respostas dos especialistas, a Figura 10 apresenta os principais desafios relacionados à segurança hídrica e à gestão das bacias hidrográficas nas regiões em que atuam.

Figura 10 - Maiores desafios para a segurança hídrica



Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados evidenciam que os entrevistados identificaram diversos fatores que comprometem a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos, destacando questões ambientais, institucionais, climáticas e de planejamento.

Os fatores mais importantes apontados pelos especialistas consistem em:

- contaminação de corpos d’água (44,4%); riscos à qualidade e à disponibilidade da água
- mudanças climáticas e eventos extremos (44,4%); processos globais de intensificação climática,
- infraestrutura hídrica insuficiente (40,7%): limitações relacionadas a sistemas de abastecimento, armazenamento, monitoramento, saneamento e distribuição da água;
- falta de integração entre partes envolvidas na gestão hídrica (37,0%): dificuldades de articulação entre órgãos públicos, setor privado, sociedade civil, comitês de bacias e demais atores;
- escassez de recursos hídricos (29,6%): demonstrando que a pressão sobre os recursos disponíveis;
- conflitos de uso da água (29,6%): disputa entre múltiplos usos como o abastecimento urbano, agricultura e indústria;

- baixa conscientização pública sobre recursos hídricos (18,5%): necessidade de ações voltadas à educação ambiental;
- desmatamento e degradação ambiental (11,1%): preservação de áreas de recarga hídrica, recuperação ambiental e fortalecimento da participação social.
- outros (3,7%): acesso à água potável; disponibilidade de dados e acesso aos dados; baixa qualidade da água; entendimento da segurança hídrica urbanização intensa; indisponibilidade de água; uso e ocupação irregular; tomadas de decisão; perda de água nos sistemas de abastecimento; monitoramento da qualidade da água; desconhecimento da população.

De maneira geral, os resultados apontam que os desafios percebidos são associados à qualidade da água, impactos climáticos, infraestrutura e governança, indicando que políticas públicas e estratégias de gestão devem priorizar ações integradas, investimentos estruturais, fortalecimento institucional e medidas de adaptação às mudanças climáticas, visando a segurança hídrica e sustentabilidade das bacias hidrográficas.

Com o objetivo de descrever os desafios particulares que afetam a região, foi elaborado a seguinte questão: ***"Existem desafios particulares que afetam sua região/bacia hidrográfica (ex.: falta de infraestrutura, conflitos de uso da água, mudanças climáticas)?".***

A Figura 11 apresenta alguns depoimentos dos especialistas.

Figura 11 - Desafios particulares

****** *seg_hídr *entr_46 *text_02 *29_62**

os **desafios** como falta comunicação a estrutura técnica que o comitê tem para poder trabalhar esses dados e fazer a divulgação dessas informações acredito que o uso das tecnologias acredito que sim com certeza

****** *seg_hídr *entr_03P *text_02 *168_339**

os principais **desafios** incluem a redução_da_quantidade_de_água devido ao derretimento de geleiras secas_extremas e falta_de_chuva além de eventos_extremos como chuvas intensas inundações e geadas soma se a isso a ausência de infraestrutura_hídrica rodoviária e apoio governamental

****** *seg_hídr *entr_05P *text_01 *233_470**

principais **desafios** envolvem planejamento educacao_ambiental fiscalização e controle de riscos há necessidade de adaptação a eventos_extremos mais frequentes e intensos com revisão de criterios_de_risco as tecnologias são consideradas essenciais para apoio à decisão baseada em dados

****** *seg_hídr *entr_07 *text_03 *253_498**

os **desafios** específicos incluem a dificuldade de reposição de pessoal técnico na cetesb a escassez de recursos para contratação de empresas terceirizadas a dependência de insumos importados e a insegurança financeira quanto à continuidade do monitoramento

****** *seg_hídr *entr_07 *text_02 *252_496**

os maiores **desafios** envolvem o monitoramento contínuo da qualidade_da_água que exige grande dedicação equipe técnica_especializada logística estruturada estoque de equipamento e estoque de insumos importados além de fontes de financiamento estáveis

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os especialistas destacam que a gestão hídrica enfrenta desafios que exigem decisões técnicas mais qualificadas, planejamento integrado e uso de tecnologias para monitoramento e apoio à tomada de decisão. Além disso, os conflitos pelo uso da água aparecem como um dos principais problemas enfrentados pelas bacias hidrográficas.

As análises também reforçam a importância da educação ambiental, da fiscalização e do planejamento territorial para reduzir riscos e fortalecer a segurança hídrica. Dessa forma, os desafios envolvem não apenas a disponibilidade de água, mas também fatores sociais, institucionais, políticos e ambientais que demandam ações integradas e contínuas.

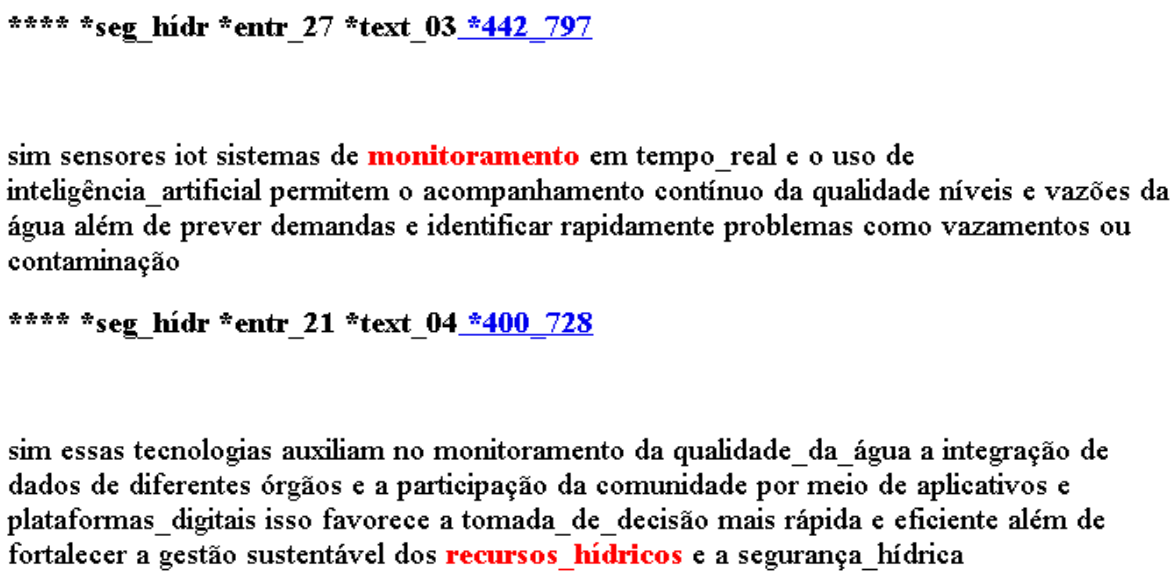
Diante dessas informações percebeu-se que existem dificuldades relacionadas à falta de planejamento, conflitos pelo uso da água, baixa qualidade dos recursos hídricos e

necessidade de decisões mais técnicas e eficientes, e a falta de integração entre os órgãos responsáveis, demonstrando uma deficiência na comunicação e limitações da estrutura técnica para estar acompanhando e divulgando informações importantes.

Com o objetivo de descrever se as TICs contribuem para melhoria da segurança hídrica, foi elaborado a seguinte questão: ***"Você acredita que o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação inovadoras podem contribuir para melhorar a gestão de recursos hídricos e segurança hídrica?".***

Assim 100% dos entrevistados afirmaram que o uso de TICs pode contribuir para melhorar a gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica. A Figura 12 apresenta-se alguns depoimentos.

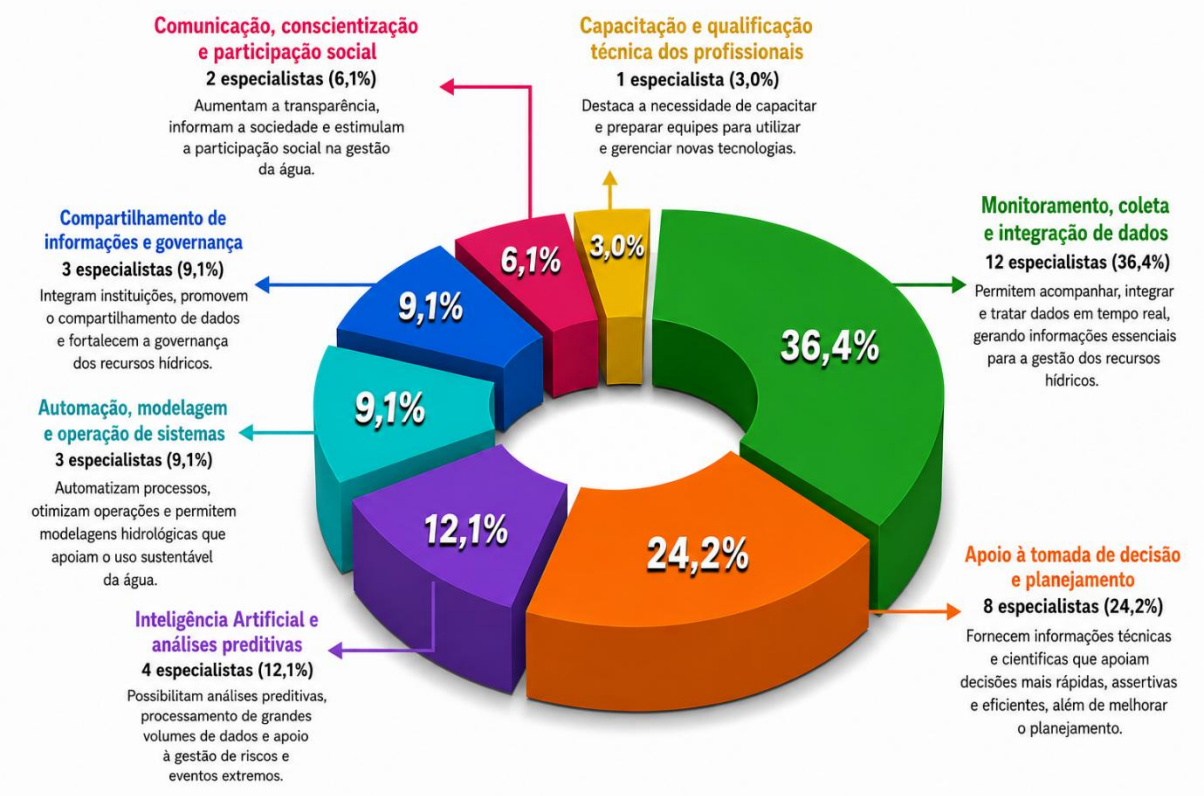
Figura 12 - Uso das tecnologias inovadoras



Fonte: Elaboração própria (2026).

Com base nas respostas dos especialistas, observa-se um consenso muito elevado sobre a contribuição das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) inovadoras para a gestão dos recursos hídricos e para o fortalecimento da segurança hídrica. Sendo assim, com base nas respostas dos especialistas, foram identificadas as contribuições das tecnologias para a gestão de recursos hídricos e segurança hídrica (Figura 13).

Figura 13 - Principais contribuições das TICs para melhorar a gestão de recursos hídricos e segurança hídrica.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Os resultados evidenciam que as tecnologias são percebidas como instrumentos estratégicos para aprimorar a gestão, aumentar a eficiência operacional e fortalecer a capacidade de resposta frente aos desafios relacionados aos recursos hídricos. Os resultados demonstram as tecnologias mais citadas pelos especialistas, as porcentagens não representam partes de um todo, somam mais de 100%, já que os especialistas puderam citar várias tecnologias.

A partir da síntese das respostas obtidas, observa-se que:

- 90,9% → afirmaram de forma direta que as tecnologias inovadoras são essenciais, fundamentais ou extremamente importantes para a gestão dos recursos hídricos.
- 75,8% → destacaram que essas tecnologias contribuem principalmente para o monitoramento, coleta, integração e tratamento de dados, permitindo uma gestão mais eficiente.
- 66,7% → ressaltaram a importância das tecnologias para a tomada de decisão baseada em informações técnicas e científicas, aumentando a capacidade de planejamento e resposta aos desafios hídricos.

- 36,4% → mencionaram especificamente o potencial da Inteligência Artificial (IA) para realizar análises preditivas, processar grandes volumes de dados e apoiar a gestão de riscos.
- 27,3% → enfatizaram a necessidade de integração e compartilhamento de informações entre instituições, reduzindo incertezas e fortalecendo a governança da água.
- 18,2% → destacaram que o sucesso dessas tecnologias depende de fatores complementares, como capacitação profissional, qualidade dos dados e investimentos institucionais.

Os resultados indicam que há um consenso significativo entre os especialistas sobre o fato de que as tecnologias de informação e comunicação inovadoras funcionam como instrumentos estratégicos para lidar com os desafios atuais da gestão de recursos hídricos, entretanto as respostas destacam que as principais melhorias para a segurança hídrica juntamente com as TICs estão associados ao acompanhamento em tempo real, automação de procedimentos, unificação de bancos de dados, simulação de cenários futuros e suporte na tomada de decisões.

Diante das respostas dos especialistas, ficou claro que as TICs são reconhecidas como importante aliado para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos e que essas ferramentas contribuem significativamente para o monitoramento, a coleta e a integração de dados, além de fortalecerem os processos de planejamento, análise e tomada de decisão. Entretanto as respostas também demonstram que a tecnologia, isoladamente não é capaz de solucionar os desafios da gestão hídrica e seu potencial está relacionado à disponibilidade de dados confiáveis, à capacitação dos profissionais responsáveis para sua utilização, integração entre instituições e ao uso adequado das ferramentas tecnológicas. Portanto com o relato dos especialistas ficou evidente que as TICs devem ser compreendidas como instrumentos de apoio à gestão, capazes de ampliar a eficiência operacional, aumentar a capacidade de previsão de cenários e proporcionar maior segurança e qualidade às decisões relacionadas aos recursos hídricos.

4.4 Tecnologias inovadoras (TICs)

Com o objetivo de conhecer as principais tecnologias inovadoras aplicadas à gestão de recursos hídricos que cada especialista conhece, foi elaborado a seguinte questão ***"Quais delas***

você conhece?" Apresenta-se a seguir uma síntese das tecnologias identificadas e suas aplicações. Entre as tecnologias destacam-se o Sensoriamento Remoto (SR), a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), os Sistemas de apoio à decisão e outras soluções voltadas ao acompanhamento da quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

O Quadro 13 apresenta as tecnologias identificadas pelos especialistas e suas percepções.

Quadro 13 - Tecnologias identificadas nas entrevistas e análise das Percepções dos Especialistas.

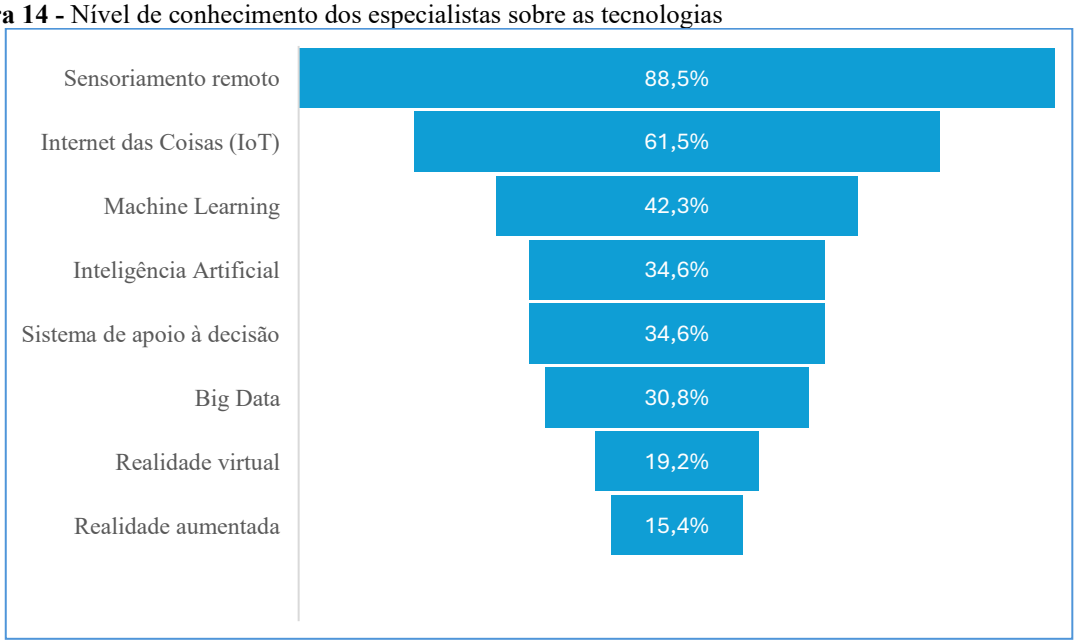
Tecnologias	**Análise das percepções dos especialistas**
Sensoriamento Remoto (SR)	Tecnologia mais citada pelos especialistas, demonstrando amplo reconhecimento de sua importância para o monitoramento de mananciais, bacias hidrográficas, uso do solo e condições hidrológicas. É percebida como uma ferramenta estratégica para geração de informações em larga escala e apoio à gestão hídrica.
Internet das Coisas (IoT)	Destacou-se entre as tecnologias mais conhecidas, sendo associada ao monitoramento em tempo real por meio de sensores conectados. Os especialistas reconhecem seu potencial para aumentar a eficiência operacional e a rapidez na identificação de problemas relacionados aos recursos hídricos.
Inteligência Artificial (IA)e Machine Learning	Foram mencionadas pelos especialistas como tecnologias capazes de apoiar previsões, análises avançadas e identificação de padrões de dados. Sua aplicação é vista como um importante suporte para a tomada de decisão e para o enfrentamento de eventos extremos.
Big Data	Os especialistas associam essas tecnologias à capacidade de integrar, processar e interpretar grandes volume de dados, contribuindo para diagnósticos mais precisos e para o planejamento da gestão hídrica.
Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)	Foram reconhecidos como ferramentas fundamentais para transformar dados em informações úteis, auxiliando gestores e tomadores de decisão na definição de estratégias e ações relacionadas à segurança hídrica.
Realidade Virtual e Realidade Aumentada	Embora menos citadas, são percebidas como tecnologias com potencial para capacitação, simulação de cenários e apoio ao planejamento e à visualização de informações complexas.
Drones, Sensores e Telemetria	Foram mencionados como ferramentas complementares de monitoramento, possibilitando a coleta de dados em campo com maior precisão e frequência, contribuindo para o acompanhamento das condições dos recursos hídricos.
Modelagem e Simulação	Aparecem como tecnologias de apoio à previsão de cenários futuros, permitindo avaliar impactos de eventos climáticos, demandas hídricas e estratégias de gestão.

Fonte: Elaboração própria (2026).

As respostas revelam que os especialistas possuem maior familiaridade com tecnologias voltadas ao monitoramento ambiental, conectividade, análise de dados e suporte à tomada de decisão. O resultado evidencia uma compreensão alinhada às tendências da transformação digital na gestão dos recursos hídricos e da segurança hídrica.

Com o objetivo de apresentar visualmente o nível de conhecimento dos especialistas sobre cada tecnologia é apresentada a Figura 14.

Figura 14 - Nível de conhecimento dos especialistas sobre as tecnologias



Fonte: Elaboração própria (2026).

Como os especialistas puderam mencionar mais de uma tecnologia, os percentuais representam a frequência de reconhecimento de cada tecnologia e não uma distribuição que totaliza 100%. Os resultados demonstram que o conhecimento dos especialistas está concentrado principalmente em tecnologias voltadas ao monitoramento e à transformação digital da gestão hídrica.

O Sensoriamento Remoto (SR) apresentou o maior percentual de reconhecimento, sendo citado por 88,5% dos participantes, seguido pela Internet das Coisas (IoT), conhecida por 61,5% dos especialistas. As tecnologias relacionadas à Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning também apresentaram elevado nível de conhecimento, indicando a crescente relevância da análise avançada de dados na gestão dos recursos hídricos.

Por outro lado, tecnologias como Realidade virtual e Realidade aumentada, apresentaram menores percentuais de reconhecimento, sugerindo que sua aplicação ainda é menor entre os especialistas entrevistados. De forma geral, os resultados evidenciam que as tecnologias mais conhecidas estão associadas ao monitoramento, à geração de dados em tempo real e ao apoio à tomada de decisão, aspectos considerados fundamentais para o fortalecimento da segurança hídrica.

Diante disso percebe-se que a inovação está muito ligada ao uso de tecnologias para monitorar a água e tomar decisões com base em dados. Ferramentas como Sensoriamento Remoto (SR) e Internet das Coisas (IoT) são valorizadas por permitirem acompanhar, em tempo real a situação das bacias hidrográficas. Também fica claro que há um bom

conhecimento sobre Inteligência Artificial (IA), Machine Learning e Big Data, indicando a importância dessas tecnologias para fazer previsões, identificar padrões e ajudar na tomada de decisões sobre a segurança hídrica. Isso mostra que o setor está acompanhando a transformação digital, por outro lado tecnologias como realidade virtual e realidade aumentada aparecem menos o que pode indicar que ainda são pouco usadas na prática da gestão da água. De modo geral, os especialistas entendem a inovação como uma forma de melhorar o monitoramento, gerar informações confiáveis e apoiar decisões mais rápidas e eficientes, destacando o papel das tecnologias nesse processo.

Com o objetivo de descrever o potencial das TICs foi elaborado a seguinte questão: ***"Quais delas você entende que tem potencial de melhorar o monitoramento da segurança hídrica?".***

Com base nas percepções dos especialistas entrevistados, foi possível identificar um conjunto diversificado de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) aplicadas à gestão dos recursos hídricos e à segurança hídrica. As respostas evidenciam que essas tecnologias atuam em diferentes etapas do processo de gestão, abrangendo desde o monitoramento e a coleta de dados em tempo real até a análise de informações, a previsão de cenários, o armazenamento de dados e a comunicação com a sociedade.

Nesse contexto, o Quadro 14 apresenta uma síntese das principais TICs mencionadas pelos especialistas, suas respectivas categorias tecnológicas e as contribuições associadas à segurança hídrica.

Quadro 14 - TICs e suas contribuições para o monitoramento da segurança hídrica

TICs mencionadas pelos especialistas	**Categoria Tecnológica**	**Contribuições para a segurança hídrica**
IoT; Sensores inteligentes; Estações automáticas de monitoramento; Telemetria;	Monitoramento e coleta de dados em tempo real	Permitem o acompanhamento contínuo das condições hídricas, identificação rápida de alterações na qualidade e quantidade da água e geração de alertas para eventos críticos.
Sensoriamento remoto; Imagens de satélite; Drones;	Observação e monitoramento ambiental	Possibilitam o monitoramento de bacias hidrográficas, reservatórios, uso e ocupação do solo, áreas de preservação e impactos ambientais em larga escala.
Inteligência Artificial (IA); Machine Learning; Big Data;	Análise de dados e suporte à decisão	Auxiliam na análise de volumes de dados, identificação de padrões, previsão de cenários de escassez hídrica, enchentes e apoio à tomada de decisão.
Sistemas de Informação Geográfica (SIG), plataformas digitais;	Integração e gestão das informações	Favorecem a organização, integração e visualização espacial dos dados, contribuindo para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

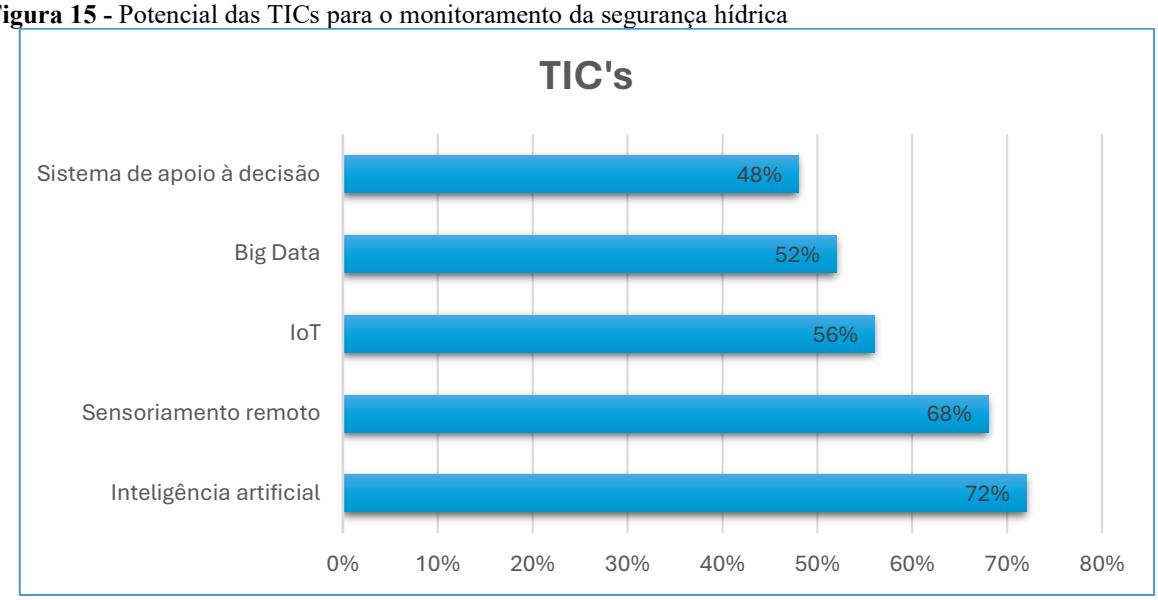
Sistemas integrados de gestão;		
Sistemas de simulação;	Previsão de cenários	Permitem simular cenários futuros, avaliar riscos e apoiar ações preventivas relacionadas à segurança hídrica.
Computação em nuvem; Bancos de dados integrados; Plataformas colaborativas;	Armazenamento e compartilhamento de dados	Facilitam o armazenamento, processamento e compartilhamento de informações entre instituições e atores envolvidos na gestão hídrica.
Painéis de controle (dashboards); Aplicativos e plataformas de acesso público;	Comunicação e transparência	Ampliam o acesso às informações, fortalecem a governança e contribuem para a participação dos diferentes usuários da água.

Fonte: Elaboração própria (2026).

As respostas dos especialistas indicam que a capacidade das TICs para o acompanhamento da segurança hídrica se concentra em três funções principais: coleta de dados em tempo real, análise inteligente das informações e suporte à tomada de decisões. Nesse cenário, surgem tecnologias como Internet das Coisas, Sensoriamento Remoto e Inteligência Artificial, que foram ligadas ao aprimoramento do monitoramento, previsão de riscos e resposta a eventos extremos. Os especialistas enfatizam a relevância de ferramentas voltadas à integração e ao compartilhamento de dados, evidenciando que a eficácia dessas tecnologias não se restringe ao avanço tecnológico em si. Assim, ressalta-se que seu potencial reside, sobretudo, na capacidade de transformar grandes volumes de dados em informações qualificadas, aptas a subsidiar a gestão integrada e a governança dos recursos hídricos.

Os resultados demonstram as tecnologias mais citadas pelos especialistas, as porcentagens não representam partes de um todo (somam mais de 100%, já que cada especialista pôde citar várias tecnologias) na Figura 15.

Figura 15 - Potencial das TICs para o monitoramento da segurança hídrica



Fonte: Elaboração própria (2026).

O gráfico evidencia que os especialistas atribuem maior potencial à Inteligência Artificial (72%) para aprimorar o monitoramento da segurança hídrica. Esse resultado sugere que os entrevistados reconhecem a capacidade dessa tecnologia de processar grandes volumes de dados, identificar padrões, prever cenários críticos e apoiar a tomada de decisão de forma mais rápida e precisa.

Em seguida, destaca-se o Sensoriamento Remoto (68%), considerado uma das principais ferramentas para o acompanhamento das condições ambientais e hídricas em diferentes escalas espaciais. Sua importância está associada à possibilidade de monitorar bacias hidrográficas, reservatórios, uso e ocupação do solo, além de detectar alterações ambientais de forma contínua e abrangente.

A Internet das Coisas (IoT) aparece em terceiro lugar, com 56% das citações. Esse resultado demonstra a importância atribuída pelos especialistas às tecnologias de monitoramento em tempo real, por meio de sensores inteligentes, redes telemétricas e estações automáticas, que permitem a coleta contínua de dados sobre quantidade e qualidade da água.

O Big Data mencionado por 52% dos especialistas, reforça a necessidade de ferramentas capazes de armazenar, integrar e analisar grandes conjuntos de dados provenientes de diversas fontes. Essa tecnologia é percebida como essencial para transformar dados em informações estratégicas, subsidiando ações preventivas e o planejamento da gestão hídrica.

Por fim, os Sistemas de Apoio à Decisão citados por 48% dos entrevistados, são reconhecidos como instrumentos importantes para integrar informações, simular cenários e

oferecer suporte técnico aos gestores na definição de estratégias e políticas relacionadas à segurança hídrica.

Após a análise das respostas dos especialistas percebe-se que as tecnologias mais promissoras para o monitoramento da segurança hídrica estão relacionadas à coleta automática de dados, monitoramento em tempo real e ao suporte à tomada de decisão. Destacam-se Sensoriamento Remoto (SR), Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), consideradas ferramentas capazes de ampliar a capacidade de monitoramento, prever eventos críticos e fornecer informações mais rápidas e precisas. De forma complementar, tecnologias como SIG, Big Data e foram associadas à integração de informações e à construção de cenários prospectivos, reforçando o papel das TICs na modernização da gestão dos recursos hídricos.

Com o objetivo de descrever a dificuldade de implementação das TICs foi elaborado a seguinte questão: ***"Com o seu conhecimento, quais delas você vê dificuldade de implementação e por qual motivo (viabilidade técnica, viabilidade econômica e outros)?".***

As respostas demonstram que as dificuldades vão além das limitações tecnológicas propriamente ditas, englobando fatores econômicos, institucionais, operacionais e relacionados aos recursos humanos. Nesse contexto, o Quadro 15 apresenta uma síntese das principais dificuldades apontadas pelos especialistas, organizadas em categorias que permitem uma compreensão mais ampla dos fatores que influenciam a implementação e a continuidade dessas tecnologias no contexto da gestão hídrica.

Quadro 15 - Principais dificuldades para implementação das TICs

Síntese das percepções dos especialistas	**Categoria de dificuldade**
Os especialistas destacaram que os elevados custos de implantação, operação e manutenção constituem uma das principais barreiras à adoção das TICs. Tecnologias como IoT, Big Data, Inteligência Artificial, Sensoriamento Remoto, Realidade Virtual e Machine Vision demandam investimentos expressivos em infraestrutura, aquisição de equipamentos e financeira para sua operação contínua.	Viabilidade econômica
Foram apontadas dificuldades relacionadas à necessidade de infraestrutura tecnológica robusta, à complexidade dos sistemas, ao armazenamento e processamento de dados e à manutenção constante dos equipamentos e plataformas. Sistemas de Apoio à Decisão e redes automáticas de monitoramento foram citados como tecnologias que exigem elevada capacidade técnica para sua operação.	Viabilidade técnica
Diversos especialistas destacaram a escassez de profissionais qualificados e a dificuldade de capacitação das equipes para operar tecnologias avançadas. Também foi mencionada a resistência à atualização profissional e a necessidade de maior familiaridade dos usuários com as novas ferramentas tecnológicas.	Capacitação
Parte dos entrevistados afirmou que as maiores dificuldades não estão na tecnologia em si, mas nos aspectos institucionais, envolvendo governança, articulação entre órgãos, definição de responsabilidades e continuidade das políticas públicas e dos projetos de inovação.	Aspectos institucionais

Alguns entrevistados destacaram que as TICs devem ser compreendidas como ferramentas de apoio à tomada de decisão, não substituindo a análise e o julgamento humano. Segundo os especialistas, aspectos relacionados ao contexto territorial, às percepções da gestão hídrica exigem a participação ativa dos profissionais.	Dependência da interpretação humana
Tecnologias de monitoramento, telemetria e Sensoriamento Remoto demandam processos contínuos de validação e calibração dos dados. Os especialistas ressaltaram a importância da verificação das informações por meio de observações de campo e acompanhamento técnico especializado.	Confiabilidade e validação dos dados

Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise das respostas permitiu observar que os especialistas acreditam que as TICs possuem um grande potencial para melhorar a gestão dos recursos hídricos, porém consideram que sua implementação ainda enfrenta desafios. De maneira geral, ficou evidente que as dificuldades não estão apenas relacionadas à disponibilidade das tecnologias, mas principalmente às condições necessárias para sua utilização de forma contínua e eficiente.

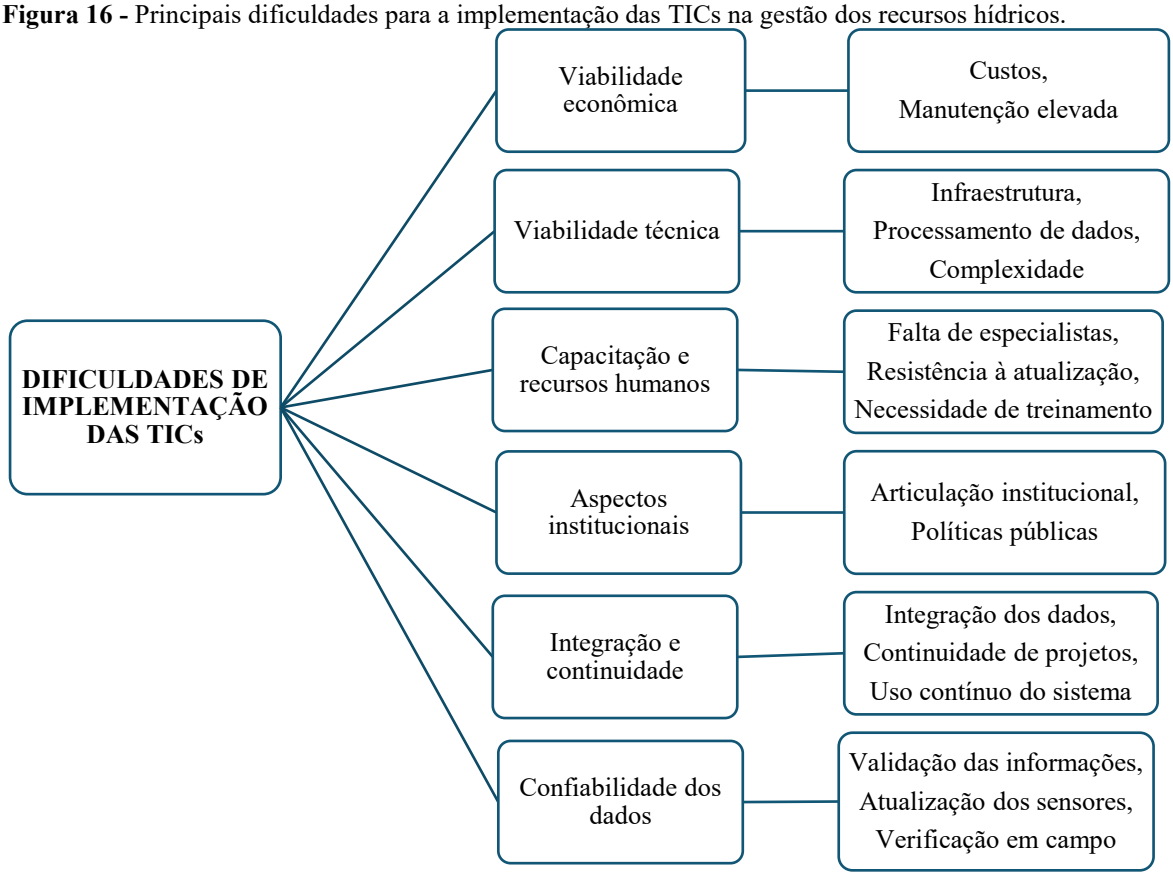
A viabilidade econômica aparece como uma das principais barreiras, especialmente com os custos de implantação elevados, manutenção e atualização das tecnologias. Além disso, muitos especialistas destacaram a necessidade de infraestrutura adequada e de equipes técnicas capacitadas para operar sistemas cada vez mais complexos, como Big Data, Inteligência Artificial (IA), Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).

Para os entrevistados, as tecnologias são ferramentas essenciais de apoio, mas não substituem a experiência de cada um, a capacidade de interpretação e a tomada de decisão dos profissionais envolvidos na gestão hídrica. Também foram mencionadas dificuldades relacionadas à integração entre instituições, à continuidade dos projetos e à consolidação de sistemas de informação que permaneçam operacionais ao longo do tempo.

Diante dessas percepções, percebe-se que o uso das TICs na gestão dos recursos hídricos depende não apenas de investimentos em tecnologia, mas também do reforço institucional, da capacitação de recursos humanos e da construção de estratégias que garantam a efetividade dessas ferramentas no longo prazo.

Com o intuito de proporcionar uma visualização mais clara e integrada das respostas obtidos nas entrevistas, a Figura 16 apresenta as principais dificuldades para a implementação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) na gestão dos recursos hídricos e na segurança hídrica apontada pelos especialistas.

Figura 16 - Principais dificuldades para a implementação das TICs na gestão dos recursos hídricos.



Fonte: Elaboração própria (2026).

A ilustração possibilita demonstrar, de maneira clara e visual a variedade de fatores envolvidos nas dificuldades referentes à implementação e à estabilidade dessas tecnologias no âmbito da administração dos recursos hídricos.

Percebe-se que com as percepções dos especialistas demonstram que a efetividade dessas ferramentas depende da combinação entre investimentos financeiros, infraestrutura adequada, capacitação técnica, fortalecimento institucional e integração entre os diferentes atores envolvidos. Nesse sentido, a incorporação das TICs deve ser compreendida como um processo contínuo, que exige não apenas inovação tecnológica, mas também condições organizacionais e humanas capazes de assegurar sua utilização de forma eficiente.

Ao analisar as respostas dos especialistas, percebe-se que apesar do reconhecimento do grande potencial das TICs para aprimorar a gestão dos recursos hídricos e fortalecer a segurança hídrica, existe um entendimento comum de que a tecnologia, isoladamente não é suficiente para solucionar os desafios enfrentados pelo setor. Portanto, os especialistas demonstram que a implementação dessas ferramentas depende, da capacidade humana de compreender, interpretar e utilizar de forma adequada as informações geradas. Dessa forma, as

tecnologias são percebidas como importantes instrumentos de apoio, mas não substituem a experiência, o conhecimento técnico e a capacidade de análise dos profissionais envolvidos.

Com o objetivo de descrever as TICs que já são utilizadas, foi elaborada a seguinte questão: ***"Quais delas você já utiliza no seu ambiente de trabalho? Descreva onde e como ela é aplicada".***

Com base nas respostas dos especialistas apresentadas, foi possível apresentar uma síntese das TICs já utilizadas no ambiente de trabalho, bem como suas principais aplicações na gestão de recursos hídricos e segurança hídrica (Quadro 16).

Quadro 16 - TICs utilizadas no ambiente do trabalho

TICs	**Aplicações no Ambiente de Trabalho**
Sensoriamento remoto (SR)	Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas; Fiscalização de obras; Topografia; Monitoramento de áreas de risco; Previsão de eventos extremos.
Internet das Coisas (IoT)	Coleta de dados hidrometeorológicos em tempo real; Monitoramento do fluxo de água; Identificação de vazamentos; Automação e controle remoto; Integração de sensores em redes de abastecimento e monitoramento hidrológico.
Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning	Previsão de vazões; Diagnóstico preditivo de perdas nas redes; Apoio à gestão hídrica e otimização da tomada de decisão.
Big Data	Tratamento, armazenamento e análise de grandes volumes de dados ambientais e hidrológicos; Geração de previsões; Apoio à divulgação de informações e à gestão integrada dos recursos hídricos.
Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)	Integração de dados hidrológicos; Suporte à tomada de decisão; Gerenciamento de outorgas; Monitoramento das bacias hidrográficas; Apoio à gestão operacional e estratégica.
Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	Elaboração de mapas temáticos; Sobreposição de camadas; Análises espaciais; Delimitação de áreas, interseções, raios e distâncias; Visualização de informações territoriais.
Redes automáticas de monitoramento e telemetria	Monitoramento contínuo da qualidade e quantidade da água; Transmissão automática de dados; Acompanhamento de precipitação, vazão, cotas e piezometria em tempo real.
Sensores inteligentes e sondas multiparâmetros	Medição de pH, temperatura, turbidez, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido; Monitoramento contínuo da qualidade da água.
Business Intelligence (BI) e Power BI	Análise de dados ambientais; Geração de indicadores e dashboards; Produção de insights para a gestão e comunicação dos resultados.
Bancos de dados SQL	Compilação, armazenamento e organização de dados de recursos hídricos e informações ambientais.

Drones	Monitoramento por imagens; fiscalização de obras; Inspeções em áreas de difícil acesso e monitoramento ambiental.
Realidade Virtual	Visualização tridimensional de redes subterrâneas; Tours virtuais em estações; Educação ambiental e transparência para a sociedade.
Boletins hidrometeorológicos e salas de situação	Apoio à tomada de decisão por meio de previsões hidrometeorológicas, acompanhamento de vazões, demandas hídricas e monitoramento de situações críticas.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A análise demonstra que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) já estão amplamente inseridas no cotidiano dos especialistas que atuam na gestão de recursos hídricos e segurança hídrica, e estão sendo empregadas em diferentes etapas do processo de gestão, desde a coleta de dados até o apoio à tomada de decisão.

Observa-se que as tecnologias mais frequentemente utilizadas estão relacionadas ao monitoramento e à geração de informações em tempo real, destacando-se o Sensoriamento Remoto (SR), a Internet das Coisas (IoT), as redes automáticas de monitoramento e os sensores inteligentes.

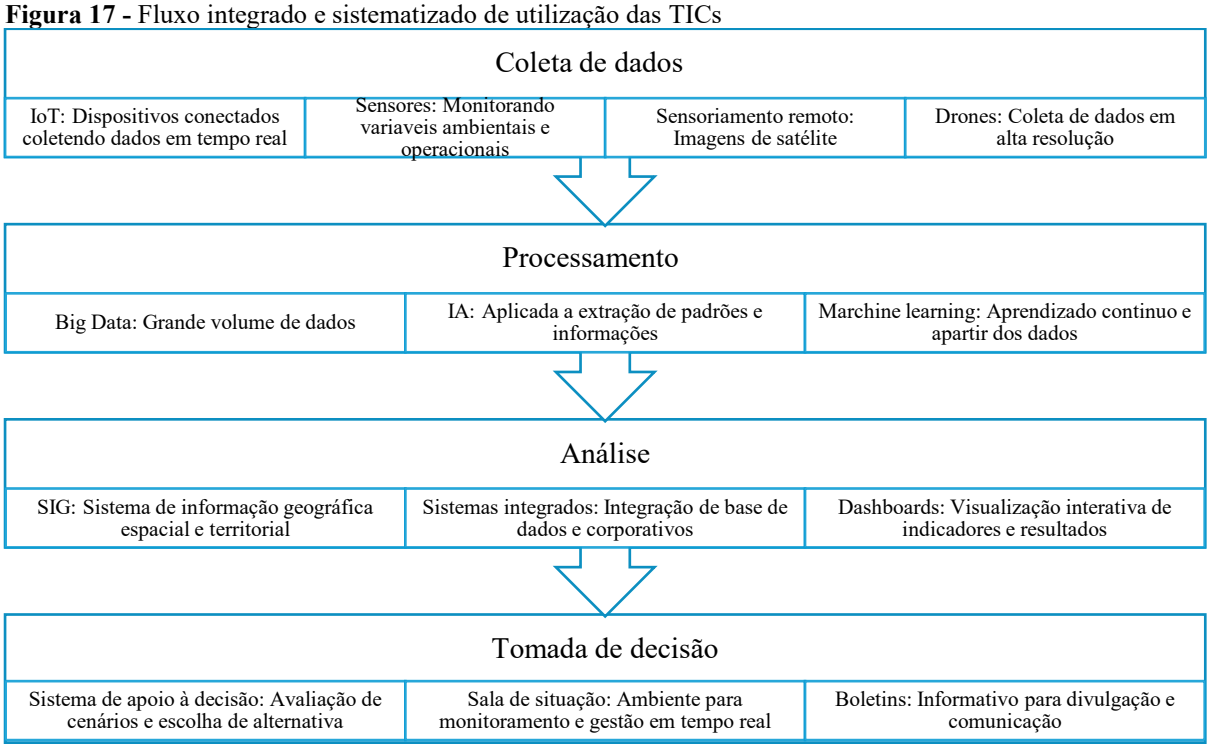
Os relatos dos especialistas evidenciam que as tecnologias voltadas ao processamento e análise de grandes volumes de dados, como Big Data, Inteligência Artificial (IA), Machine Learning e Business Intelligence, são ferramentas que contribuem para transformar dados brutos em informações estratégicas, sendo assim permitindo a realização de previsões hidrológicas, identificação de padrões, o diagnóstico de perdas nos sistemas de abastecimento e o aprimoramento da eficiência operacional das instituições.

Com isso o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) e Sistema de Informação Geográfica (SIG), essas tecnologias possibilitam uma visão integrada das bacias hidrográficas, auxiliando no planejamento, no gerenciamento de outorgas, no monitoramento dos usos da água e na formulação de estratégias voltadas à segurança hídrica.

Além disso, a presença de tecnologias como drones e realidade virtual, demonstra que algumas instituições já avançam para aplicações mais inovadoras, utilizando recursos para fiscalização, inspeções em áreas de risco, visualização de infraestruturas e ações de educação ambiental. Embora ainda apareçam com menor frequência, essas tecnologias indicam uma tendência de modernização e ampliação das ferramentas disponíveis para a gestão hídrica.

Com base nas informações apresentadas pelos participantes da pesquisa, a Figura 17 apresenta um fluxo integrado e sistematizado de utilização das TICs para a gestão de recursos hídricos, organizado em quatro etapas: coleta de dados, processamento, análise e tomada de decisão, Figura 17.

Figura 17 - Fluxo integrado e sistematizado de utilização das TICs



Fonte: Elaboração própria (2026).

De modo geral, é evidente que as TICs não são utilizadas de forma isolada, mas sim de maneira complementar e integrada. A combinação entre monitoramento em tempo real, análise inteligente de dados e sistemas de apoio à decisão fortalece a capacidade institucional de planejamento, gestão e resposta aos desafios relacionados aos recursos hídricos.

Com o objetivo de descrever as TICs diferentes das apresentadas foi elaborada a seguinte questão: ***"Você utiliza alguma outra TICs que considera inovadora diferente das apresentadas? Descreva onde e como ela é aplicada".***

Com base nas respostas apresentadas pelos participantes, observa-se que não foram identificadas TICs diferentes daquelas já apresentadas no estudo, mas houve o destaque de aspectos relacionados à inovação no uso e governança das tecnologias existentes.

Para um dos participantes, o principal desafio não está na falta de tecnologias, mas na forma como elas são utilizadas, destacando a importância da governança, do uso adequado das ferramentas já existentes e de profissionais técnicos qualificados. Entre as tecnologias mencionadas, a Inteligência Artificial (IA) foi apontada como uma ferramenta capaz de identificar padrões, realizar previsões e apoiar a tomada de decisão por meio da análise de volumes de dados. Também foi citada a integração entre telemetria, observações de campo e dados de radar, permitindo a combinação das informações e aumentando a confiabilidade do monitoramento.

De modo geral, percebe-se para os especialistas, a inovação está relacionada principalmente ao uso integrado das tecnologias disponíveis e a capacidade técnica e da governança, que são considerados fundamentais para tornar a gestão dos recursos hídricos mais eficiente.

4.5 Indicadores de segurança hídrica

Com o objetivo de conhecer os indicadores utilizados pelos especialistas no contexto da segurança hídrica, foi perguntado ***"Quais deles você conhece?".*** A seguir, no Quadro 17 apresenta-se uma síntese de indicadores identificados e suas respectivas aplicações.

Entre os indicadores destacam-se aqueles relacionados à demanda de água, disponibilidade hídrica, governança da água, incertezas associadas a eventos ambientais, infraestrutura, qualidade da água e serviços hídricos, os quais permitem avaliar diferentes dimensões da segurança hídrica e subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Quadro 17 - Síntese dos indicadores apresentados pelos especialistas

Indicador	Categoria
Índice de Qualidade da Água (IQA) Índice de Qualidade Ambiental Índice de Estado Trófico (IET) Índice de Qualidade das Águas para Abastecimento (IAP) DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) Oxigênio Dissolvido (OD)	Qualidade da Água
Disponibilidade Hídrica Disponibilidade regional Produção de água	Quantidade e Disponibilidade Hídrica
Indicadores de chuva (precipitação) Vazão Relação Chuva-Vazão Piezometria (nível de água subterrânea) Monitoramento Hidrológico Monitoramento de Demandas Hídricas	Hidrológicos e Parâmetros de Monitoramento
Índice de Segurança Hídrica (ISH) Indicadores Operacionais e Desempenho Segurança hídrica para abastecimento da população Acesso à água potável Nível dos reservatórios	Segurança Hídrica
Índice de Vida Aquática (IVA) Indicadores relacionados à manutenção da vida aquática;	Qualidade Ambiental e Ecossistemas Aquáticos
Índice de Conformidade do Enquadramento (ICE); Indicadores de Outorga; Consumo de água per capita; Consumo de água no setor agrícola; Consumo de água no setor industrial; Monitoramento do uso efetivo da água; Indicadores de conflitos pelo uso da água;	Gestão de Recursos Hídricos
Indicadores de seca	Mudanças Climáticas

Indicadores de mudanças climáticas Vulnerabilidade hídrica Frequência e intensidade de eventos extremos.	
Indicadores de erosão do solo Indicadores de áreas contaminadas Fontes potenciais de poluição Qualidade dos mananciais Risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas	Contaminação e Riscos ambientais
Cobertura de abastecimento de água Coleta e tratamento de esgoto Índice de saneamento básico Perdas na distribuição de água Atendimento da população por serviços de saneamento	Saneamento básico

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os especialistas apresentaram um entendimento profundo sobre os indicadores que estão relacionados à qualidade da água, quantidade e à disponibilidade hídrica, ao monitoramento hidrológico e à segurança hídrica para o abastecimento. Além disso, os indicadores de uso da água, que incluem os aspectos per capita, agrícola e industrial, juntamente com informações sobre saneamento básico, acesso à água potável.

Com o objetivo de descrever o potencial dos indicadores foi elaborado a seguinte questão: ***"Quais deles você entende que tem potencial de melhorar o monitoramento da segurança hídrica?".***

Com o objetivo de identificar quais indicadores apresentam maior potencial para aprimorar o monitoramento da segurança hídrica, foi solicitado aos participantes que indicassem aqueles que consideram mais relevantes. As respostas demonstraram que a segurança hídrica é um tema multidimensional, envolvendo aspectos relacionados à disponibilidade e à qualidade da água, ao consumo, aos eventos hidrológicos extremos, ao saneamento e à gestão dos recursos hídricos.

O Quadro 18 apresenta uma síntese dos principais indicadores apontados pelos especialistas, organizados em categorias temáticas, permitindo uma visão geral dos elementos considerados prioritários para o fortalecimento do monitoramento e da gestão dos recursos hídricos.

Quadro 18 - Síntese dos indicadores com potencial para melhorar o monitoramento da segurança hídrica

Categoria	**Indicadores citados pelos especialistas**
Quantidade de água	Vazão dos rios, disponibilidade hídrica, disponibilidade de água subterrânea, recursos hídricos renováveis, volume disponível para consumo, volume de reservatórios, volume de água utilizado por pessoa, produção de água, monitoramento de captações e outorgas, perdas de água.
Qualidade da água	Índice de Qualidade da Água (IQA), parâmetros da Resolução CONAMA, coliformes fecais, nitrato, ferro,

	flúor, cálcio, oxigênio dissolvido (OD), contaminantes emergentes (microplásticos, hormônios e fármacos).
Consumo e demanda	Consumo de água agrícola, consumo de água industrial, consumo de água per capita, monitoramento do uso real da água superficial e subterrânea.
Eventos extremos e mudanças climáticas	Indicadores de seca, áreas propensas a secas, áreas propensas a inundações, precipitação (chuva), tempo de recarga dos reservatórios, previsões hidrológicas e climáticas, mitigação de desastres.
Governança e gestão	Índice de Segurança Hídrica (ISH), monitoramento da implementação de planos, indicadores de aplicação de tecnologias, indicadores de melhoria ambiental.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Entre os indicadores mais citados destacam-se aqueles voltados à quantidade e qualidade da água, como vazão, disponibilidade hídrica, volume disponível para consumo e Índice de Qualidade da Água (IQA), considerados fundamentais para garantir o abastecimento e a preservação dos mananciais.

Também foram mencionados indicadores associados às secas, inundações, precipitação, saneamento básico e monitoramento das águas subterrâneas, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada para a avaliação da segurança hídrica. Além disso, os especialistas ressaltaram a importância dos indicadores de saneamento e acesso à água, como cobertura de abastecimento e rede de esgoto, por influenciarem diretamente a qualidade ambiental e a segurança hídrica da população.

Com base nas respostas dos participantes, percebe-se que o monitoramento da segurança hídrica deve contemplar diferentes dimensões dos recursos hídricos, não se restringindo à avaliação de um único indicador. Os especialistas demonstram que a integração de indicadores relacionados à disponibilidade e à qualidade da água, ao consumo, aos eventos extremos, ao saneamento e à governança permite uma compreensão mais abrangente das condições de segurança hídrica. Além disso, observa-se a preocupação com a incorporação de novos indicadores, como aqueles relacionados às mudanças climáticas, às águas subterrâneas e aos contaminantes emergentes, evidenciando a necessidade de aprimorar continuamente o monitoramento para subsidiar o planejamento e a tomada de decisão.

Com o objetivo de descrever a dificuldade de implementação dos indicadores foi elaborado a seguinte questão: ***"Com o seu conhecimento, quais deles você vê dificuldade de implementação e por qual motivo (viabilidade técnica, viabilidade econômica e outros)?".***

Com o objetivo de conhecer quais são as dificuldades de implementação dos indicadores, com base nas respostas dos participantes fica claro que o verdadeiro desafio dos indicadores de segurança hídrica não é escolher quais usar, mas sim fazê-los funcionar na

prática. Os principais obstáculos são a falta de dados confiáveis, o orçamento apertado, a complexidade técnica e aos custos envolvidos e os desafios institucionais. De forma geral, os participantes destacaram que os indicadores mais difíceis de implementar são aqueles que dependem de monitoramento contínuo, tecnologias específicas, integração de diferentes bases de dados. O Quadro 19 apresenta uma síntese das principais dificuldade de implementações dos indicadores.

Quadro 19 - Dificuldades de implementação dos indicadores

Síntese das percepções dos especialistas	**Categorias de dificuldade**
Os indicadores de qualidade da água e de contaminantes emergentes demandam análises laboratoriais especializadas, inexistência de padrões consolidados para alguns parâmetros e elevado custo operacional.	Limitações técnicas e laboratoriais
Indicadores relacionados ao consumo de água agrícola e industrial enfrentam dificuldades devido à obtenção de informações confiáveis, necessidade de equipamentos de medição e, em alguns casos, confidencialidade dos dados pelas empresas.	Disponibilidade e acesso às informações
A implementação de indicadores voltados às áreas suscetíveis a inundações, secas, mitigação de desastres e infraestrutura de proteção exige integração de bases de dados, atualização constante, planejamento e elevados investimentos.	Viabilidade técnica e econômica
Os indicadores relacionados às mudanças climáticas, como potencial de adaptação às mudanças futuras, foram considerados os mais complexos devido às incertezas dos cenários futuros, necessidade de modelagens e dificuldade de previsão.	Complexidade técnica e científica
Indicadores de disponibilidade e confiabilidade das águas subterrâneas, recursos hídricos renováveis e volume disponível de água apresentam dificuldades pela necessidade de monitoramento contínuo, equipamentos específicos e coleta sistemática de dados.	Monitoramento
Alguns especialistas destacaram que a dificuldade não está na implementação dos indicadores, mas na definição dos locais de monitoramento, na articulação entre instituições e na governança necessária para utilização dos resultados.	Governança e articulação institucional
A necessidade de manutenção e calibração dos equipamentos, limitações na comunicação de dados, ausência de microssensores e carência de equipes capacitadas também foram identificadas como obstáculos para a implementação dos indicadores.	Infraestrutura tecnológica

Fonte: Elaboração própria (2026).

Percebe-se que, com as respostas que as principais dificuldades estão relacionadas à necessidade de monitoramento contínuo, obtenção de dados confiáveis, disponibilidade de infraestrutura tecnológica. Além disso, indicadores relacionados às mudanças climáticas e à qualidade da água foram considerados os mais complexos em razão da necessidade de análises especializadas e maior disponibilidade de informações. Também foi mencionada a importância da articulação entre as instituições para garantir a integração dos dados e o uso na tomada de decisão.

Dessa forma, os resultados demonstram que a implementação dos indicadores depende também de investimentos em tecnologia, fortalecimento do monitoramento, integração institucional e melhoria da qualidade das bases de dados.

Com o objetivo de descrever os indicadores utilizados no trabalho foi elaborado a seguinte questão*: **"Quais deles você já utiliza no seu ambiente de trabalho? Descreva onde e como ele é aplicado".***

As respostas demonstraram que a utilização dos indicadores ocorre em diferentes áreas da gestão dos recursos hídricos, ações de monitoramento, planejamento, controle, fiscalização e apoio à tomada de decisão. E com a diversidade de indicadores mencionados, optou-se por elaborar uma síntese (Quadro 20) agrupando os principais indicadores utilizados pelos participantes e suas aplicações.

Quadro 20 - Síntese dos indicadores utilizados

Indicador utilizado	**Aplicação no ambiente de trabalho**
Quantidade de água (vazão, disponibilidade hídrica, volume disponível para consumo, volume de água por habitante)	Acompanhar a disponibilidade hídrica, equilibrar oferta e demanda de água, o abastecimento público, realizar balanços hídricos e monitorar pontos de captação. Utilizado no monitoramento contínuo da qualidade das águas superficiais, no controle da potabilidade.
Consumo de água (agrícola, industrial e per capita)	Acompanhar os diferentes usos da água, subsidiar o planejamento dos recursos hídricos e monitorar a demanda dos diversos setores usuários.
Perdas de água	Identificar perdas reais e aparentes nos sistemas de abastecimento, verificar falhas em medidores e apoiar ações para redução de desperdícios.
Áreas propensas a secas	Utilizado para monitorar eventos de estiagem, apoiar sistemas de alerta hidrológico, planejamento operacional e previsão de disponibilidade hídrica.
Áreas propensas a inundações	Aplicado no monitoramento de riscos de enchentes, sistemas de alerta hidrológico, previsão de vazões e planejamento preventivo.
Mitigação de desastres e proteção contra inundações	Utilizado para ações preventivas, reduzir impactos de eventos extremos e fortalecer a gestão de riscos hidrológicos.
Disponibilidade e confiabilidade das águas subterrâneas	Acompanhamento da disponibilidade dos aquíferos.
Indicadores de qualidade físico-química e microbiológica (Cálcio, Ferro, Nitrato, Flúor, Coliformes Fecais)	Utilizados no controle da qualidade da água destinada ao abastecimento e no monitoramento ambiental, garantindo conformidade com padrões legais.
Acesso à água potável e saneamento (água canalizada, rede de esgoto, acesso ao saneamento)	Aplicados no acompanhamento da cobertura dos serviços de abastecimento e saneamento.
Indicadores padronizados dos Comitês de Bacias e do Estado	Utilizados na elaboração dos Relatórios de Situação, Planos Estaduais de Recursos Hídricos e no acompanhamento da gestão das bacias hidrográficas.
Indicadores de abastecimento e saneamento básico	Empregados para subsidiar a gestão dos recursos hídricos, avaliar a prestação dos serviços e apoiar o planejamento municipal.

Fiscalização ambiental	Utilizada para identificar lançamentos irregulares de esgoto, descarte de resíduos, ocupações ilegais e outras infrações que afetam a qualidade dos corpos d'água.
Outorga e cadastro de usuários da água	Controle do uso da água, fiscalização dos usuários e gestão dos processos de concessão de uso dos recursos hídricos.
Caudais ecológicos	Utilizados para garantir a manutenção dos ecossistemas aquáticos e atender aos padrões definidos pela legislação ambiental.
Modelagem hidrológica	Utilizada como ferramenta de apoio ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos, especialmente na simulação de cenários.
Telemetria e monitoramento	Acompanhamento em tempo real das captações de água, monitoramento do consumo e gestão da disponibilidade regional.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Percebe-se, a partir das respostas dos participantes que os indicadores mais utilizados no ambiente de trabalho estão relacionados ao monitoramento da qualidade e quantidade da água. Esses indicadores são empregados para acompanhar a disponibilidade dos recursos hídricos, avaliar a qualidade da água destinada ao abastecimento, monitorar situações de seca e inundação, controlar o consumo de água e fornecer informações que apoiam o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, observa-se que esses indicadores são fundamentais na tomada de decisão e na implementação de ações voltadas à segurança hídrica. E com isso também foram mencionados indicadores relacionados ao saneamento, fiscalização ambiental, cobertura vegetal, vulnerabilidade, outorga e telemetria, evidenciando que sua aplicação ocorre tanto no monitoramento operacional quanto no apoio à tomada de decisão, ao planejamento das bacias hidrográficas.

Com o objetivo de descrever os indicadores diferentes dos apresentados foi elaborada a seguinte questão: ***"Você utiliza algum outro indicador que considera importante para monitorar a segurança hídrica diferente dos apresentados? Descreva onde e como ele é aplicado".***

As respostas obtidas permitiram identificar indicadores utilizados pelos especialistas em suas atividades profissionais, evidenciando novas perspectivas para o acompanhamento da segurança hídrica. O Quadro 21 apresenta a síntese dos principais indicadores mencionados e suas aplicações.

Quadro 21 - Indicadores utilizados pelos especialistas em suas atividades profissionais

Indicador	**Aplicação**
Consumo per capita de água	Utilizado no planejamento do abastecimento, dimensionar reservatórios, identificar setores com

	maior consumo, otimizar a distribuição de água, reduzir perdas e diminuir o consumo de produtos químicos no tratamento.
Indicadores de reservatórios e telemetria	Monitoramento dos níveis dos reservatórios de água bruta e tratada, pressão da rede de distribuição e acompanhamento operacional em tempo real, apoiando a gestão do sistema de abastecimento.
Índice Padronizado de Precipitação (SPI)	Utilizado para monitorar eventos de seca e a avaliação da disponibilidade hídrica durante períodos de escassez.
Indicador de prejuízos	Avaliar os impactos e danos decorrentes de eventos relacionados à segurança hídrica, embora sua aplicação ainda não tenha sido detalhada pelos participantes.
Perdas no sistema de abastecimento	Utilizado para monitorar perdas físicas e aparentes na distribuição de água, permitindo avaliar a eficiência operacional do sistema e orientar para redução de desperdícios.
Monitoramento em tempo real (SIMQUA)	Acompanhamento dos dados obtidos em tempo real das condições dos rios por meio de estações automáticas de monitoramento, permitindo análises rápidas e apoio à tomada de decisão.
Conflitos pelo uso da água	Disputas entre diferentes usuários da água (abastecimento público, indústria e agricultura), especialmente em períodos de escassez hídrica.
Poluentes emergentes	Monitorar contaminantes como resíduos de medicamentos, microplásticos e outros compostos emergentes que representam riscos à qualidade da água e à saúde ambiental.
Indicadores de erosão do solo	Monitorar áreas suscetíveis à erosão e avaliar impactos sobre os mananciais, auxiliando no planejamento da conservação ambiental.

Fonte: Elaboração própria (2026).

O quadro sintetiza os *indicadores* complementares mencionados pelos participantes, indicando que além dos indicadores tradicionalmente utilizados na segurança hídrica, há uma preocupação com aspectos relacionados ao monitoramento em tempo real, sistemas de abastecimento, conflitos pelo uso da água, perdas no abastecimento, erosão do solo, poluentes emergentes e a degradação das bacias hidrográficas**.** Os especialistas demonstram a importância de incorporar indicadores voltados aos poluentes emergentes, às outorgas de uso da água e à erosão do solo, temas que ainda são pouco monitorados, mas que podem exercer influência significativa sobre a qualidade da água e a conservação.

Por fim, os participantes não apontaram novos indicadores, pelo contrário, as respostas mostram que o monitoramento depende da combinação de diferentes indicadores pois cada um contribui para analisar aspectos específicos da disponibilidade, da qualidade e da gestão da água.

4.6 Perspectivas futuras e comentários finais

Com o objetivo de identificar as perspectivas dos especialistas em relação ao futuro da gestão dos recursos hídricos, foi apresentada a seguinte questão: ***"Quais inovações tecnológicas e políticas você acredita que terão o maior impacto nos próximos anos?"***

De modo geral, os especialistas destacaram desde tecnologias voltadas ao monitoramento e análise de dados até mudanças institucionais e políticas públicas relacionadas à governança, planejamento e adaptação às mudanças climáticas. Com base nas respostas obtidas, foi elaborado uma síntese das principais inovações mencionadas (Quadro 22).

Quadro 22 - Síntese das principais inovações

Categoria	Principais inovações mencionadas
Modelagem e sistemas de apoio à decisão	Aperfeiçoamento de sistemas de projeção hidrológica; Previsão de eventos extremos; Integração de bancos de dados e desenvolvimento de sistemas inteligentes para apoiar gestores e técnicos.
Reuso da água e tecnologias de tratamento	Expansão do reuso direto e indireto da água; Tratamento de poluentes emergentes; Processos avançados de tratamento e melhoria da qualidade da água
Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs)	Desenvolvimento de plataformas acessíveis para técnicos, gestores e população; Utilização de realidade virtual; Realidade aumentada; Indicadores de consumo; IoT e sistemas de informação para ampliar a comunicação e a educação ambiental.
Educação ambiental	Ampliação da participação da população na gestão da água; Fortalecimento da educação ambiental; Divulgação de informações e desenvolvimento de ferramentas de fácil utilização para diferentes públicos.
Monitoramento inteligente dos recursos hídricos	Ampliação do monitoramento em tempo real por meio de sensores; Sensores FDOM (qualidade da água); Telemetria, monitoramento por satélite, sensoriamento remoto, monitoramento integrado, identificação de vazamentos mapeamento de anomalias e expansão das redes automáticas de monitoramento.
Inteligência Artificial (IA) e análise de dados	Utilização da Inteligência Artificial para gerenciamento dos recursos hídricos, análise de grandes volumes de dados (Big Data), geração automática de relatórios, apoio à tomada de decisão, previsões hidrológicas mais precisas, identificação de padrões e redução do trabalho operacional.
Infraestrutura	Redução de perdas de água; Investimentos em infraestrutura; Eficiência dos sistemas de abastecimento; Produção própria de energia por fontes renováveis e fortalecimento do setor de saneamento.

Fonte: Elaboração própria (2026).

Percebe-se, com as respostas dos especialistas, que as inovações consideradas mais relevantes para os próximos anos se concentram na integração entre tecnologias digital, monitoramento e fortalecimento das políticas públicas.

A Inteligência Artificial (IA) foi uma das mais mencionadas, sendo associada ao processamento de volumes de dados, à automatização de atividades, ao apoio à tomada de decisão e ao aperfeiçoamento das previsões hidrológicas. Também foi citado o monitoramento em tempo real dos recursos hídricos, utilizando sensores, redes telemétricas, sensoriamento remoto, imagens de satélite e outras tecnologias capazes de ampliar a confiabilidade das informações. Segundo os especialistas, essas ferramentas permitem uma gestão mais eficiente, baseada em dados atualizados e capazes de subsidiar respostas mais rápidas diante de eventos críticos.

Observa-se também a preocupação com a ampliação do reuso da água, o desenvolvimento de tecnologias avançadas de tratamento de esgotos e poluentes emergentes, bem como a redução das perdas nos sistemas de abastecimento.

No campo das políticas públicas, as respostas reforçam a necessidade de fortalecer a governança da água por meio da integração entre instituições, do planejamento em escala de bacias hidrográficas, da ampliação da participação social e da implementação de políticas voltadas à adaptação às mudanças climáticas e à gestão de riscos. Além disso, alguns especialistas ressaltaram que os avanços tecnológicos trazem resultados efetivos quando acompanhados por mudanças institucionais, investimentos contínuos e articulação entre os diferentes atores envolvidos na gestão dos recursos hídricos.

De forma geral, as respostas demonstram que o futuro da segurança hídrica dependerá da combinação entre inovação tecnológica, produção de informações confiáveis, modernização da gestão e fortalecimento das políticas públicas, evidenciando que esses elementos devem atuar de maneira integrada.

Com o objetivo de compreender como as instituições podem colaborar para o fortalecimento da segurança hídrica e para a implementação das mudanças apontadas pelos especialistas, foi apresentada a seguinte questão**:** ***"Como a sua instituição pode contribuir para essas mudanças?"***

As respostas evidenciam diferentes formas de atuação das instituições, envolvendo desde o uso de tecnologias inovadoras até ações de capacitação, produção de conhecimento, monitoramento ambiental, governança e cooperação entre diferentes setores. O Quadro 23 apresenta uma síntese das principais contribuições mencionadas pelos participantes.

Quadro 23 - Principais contribuições mencionadas pelos especialistas

Contribuições	**Área**
Implementação e acompanhamento de sistemas de monitoramento; Divulgação de dados de qualidade da água e fiscalização da qualidade das águas superficiais; Monitoramento dos usos da água; Previsões de eventos extremos;	Monitoramento e produção de dados
Fortalecer o uso de tecnologias já em implantação de sensores, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), redes telemétricas; Investir na digitalização de processos sistemas de apoio à decisão; Novas ferramentas para monitoramento e uso de indicadores preditivos.	Tecnologias e inovação
Capacitação técnica; Qualificação de novos profissionais; Fortalecimento das competências técnicas.	Capacitação e desenvolvimento profissional
Ações educativas; Campanhas de conscientização; Sensibilização da sociedade, empresas e escolas; Fortalecimento da educação ambiental.	Educação ambiental e conscientização
Desenvolvimento de pesquisas; Extensão universitária; Transferência de conhecimento; Cooperação internacional; Incentivo à inovação científica e tecnológica.	Pesquisa e produção do conhecimento
Necessidade de ampliação das equipes técnicas; Realização de concursos públicos; Superação de limitações administrativas; Fortalecimento da estrutura institucional.	Desafios institucionais
Através de projetos hidroambientais que visam o aumento da quantidade e qualidade da água.	Proteção dos recursos hídricos

Fonte: Elaboração própria (2026).

Por meio das respostas dos especialistas, fica claro que as instituições são fundamentais na segurança hídrica, trabalhando em diversas áreas que se inter-relacionam. Outro aspecto bastante destacado foi a capacitação técnica e da produção de conhecimento. Os especialistas ressaltaram que investir na formação de profissionais, no desenvolvimento de pesquisas, na educação ambiental e na transferência de conhecimento contribui para preparar instituições e sociedade para enfrentar os desafios futuros relacionados aos recursos hídricos.

Também destacam que a colaboração entre diferentes instituições é fundamental, e foram citadas iniciativas de integração envolvendo entidades governamentais, universidades, empresas, cidades e a comunidade, o que possibilita a troca de experiências e dados.

Por fim, alguns especialistas também apontaram limitações institucionais, como a necessidade de ampliar equipes técnicas e superar desafios administrativos e burocráticos. De forma geral, as respostas demonstram que o fortalecimento da segurança hídrica depende da

integração entre inovação tecnológica, produção de conhecimento, governança, capacitação e cooperação entre diferentes instituições.

Ao final da entrevista, foi oferecido aos participantes um espaço para complementar suas contribuições, por meio da pergunta: ***"Há alguma informação adicional que você gostaria de compartilhar ou algum ponto que não foi abordado?"***

A última questão da entrevista teve como objetivo oferecer aos especialistas um espaço livre para estar acrescentar informações que considerassem importante e que não haviam sido abordadas ao longo da entrevista. Essa etapa permitiu reunir percepções complementares sobre segurança hídrica, gestão dos recursos hídricos, inovação tecnológica, participação social e desafios para o futuro.

Com isso apresenta-se uma síntese das informações adicionais citadas pelos especialistas:

- Ressaltou que ainda existe muito a compreender sobre o comportamento da natureza e reforçou a preocupação com os impactos do uso inadequado da água sobre sua qualidade e quantidade.
- Comentou que após a pandemia, houve maior conscientização da população sobre saúde e meio ambiente, além do avanço das pesquisas sobre contaminantes emergentes, como microplásticos e fármacos.
- Manifestou satisfação com a entrevista e considerou a abordagem bastante interessante.
- Comentou que ouvir técnicos e gestores fortalece a construção colaborativa de sistemas de suporte à decisão e destacou que essas ferramentas precisam ser simples, claras e fáceis de utilizar.
- Sugeriu o uso de realidade virtual como ferramenta de educação ambiental e apoio à tomada de decisão, aproximando a população das informações sobre recursos hídricos e reduzindo desinformações.
- Considerou que o estudo poderá servir como referência para gestores de diferentes bacias hidrográficas, contribuindo para futuras aplicações práticas.
- Destacou o potencial da Inteligência Artificial para o saneamento e a segurança hídrica, ressaltando a necessidade de investimentos, capacitação, integração tecnológica, proteção de dados e educação da população para seu uso adequado.

- Demonstrou confiança no avanço das novas tecnologias, especialmente da Inteligência Artificial, como ferramenta para enfrentar os desafios relacionados à redução da disponibilidade hídrica.
- Destacou a importância do conhecimento técnico especializado, da transparência na divulgação das informações e da necessidade de maior apoio financeiro e participação dos Comitês de Bacia para ampliar as ações.

Percebe-se, com os comentários finais dos especialistas, que a segurança hídrica depende da união entre tecnologia, planejamento, gestão e participação de diferentes instituições. Os participantes destacaram a importância do investimento em inovações, como Inteligência Artificial (IA), telemetria e Sensoriamento Remoto (SR), realidade virtual e sistemas automatizados, demonstrando que essas tecnologias possuem grande potencial para melhorar a gestão dos recursos hídricos, mas reforçaram que essas ferramentas precisam estar acompanhadas de pessoas com capacitação e recursos financeiros.

Destacou-se também, a necessidade de ampliar a conscientização da sociedade sobre a importância da água e do saneamento, como investir em educação ambiental para aproximar a população das informações técnicas.

De forma geral, as contribuições mostram que enfrentar os desafios da segurança hídrica exige ações integradas, baseada em planejamento, cooperação institucional, planejamento de longo prazo e cooperação entre todos os envolvidos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

Esta dissertação teve como objetivo analisar o potencial das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) inovadoras para o monitoramento da segurança hídrica, com base nas percepções dos especialistas que atuam na área de gestão de recursos hídricos. Para isso, foram realizadas entrevistas com especialistas de diferentes instituições, para compreender os principais desafios relacionados à segurança hídrica, identificar as tecnologias utilizadas na gestão dos recursos hídricos e analisar suas contribuições, potencialidades e limitações.

Os resultados obtidos demonstram que a segurança hídrica é um tema complexo, que depende da integração de diferentes fatores como ambientais, sociais, institucionais, econômicos e tecnológicos. Durante o período das entrevistas, os especialistas destacaram que os desafios como as mudanças climáticas, como a ocorrência de secas e enchentes, a degradação da qualidade da água, os conflitos pelo uso dos recursos hídricos, a expansão da demanda por água e a necessidade de maior integração entre as instituições continuam sendo alguns dos obstáculos para a gestão eficiente das bacias hidrográficas.

A pesquisa também evidenciou que existe consenso entre os especialistas quanto à importância das TICs para fortalecer o monitoramento da segurança hídrica, as entrevistas demostraram que essas tecnologias contribuem para tornar a gestão dos recursos hídricos mais eficiente, principalmente por possibilitar a coleta de dados em tempo real, o monitoramento contínuo, integração de informações de diferentes fontes confiáveis, realização de análises e apoio à tomada de decisão.

Entre as tecnologias mais citadas pelos especialistas estão a Inteligência Artificial (IA), o Sensoriamento Remoto (SR), a Internet das Coisas (IoT), o Big Data, os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), as redes automáticas de monitoramento, redes telemétricas, os sensores inteligentes e os drones. Segundo os especialistas, essas ferramentas representam um importante avanço para a gestão dos recursos hídricos, pois permitem produzir informações mais rápidas, confiáveis e úteis para o planejamento, a prevenção de riscos e o acompanhamento da segurança hídrica.

Outro aspecto importante observado nas entrevistas foi que as TICs já fazem parte da rotina de diversas instituições responsáveis pela gestão da água, que os especialistas relataram sua utilização em atividades relacionadas ao monitoramento hidrológico, acompanhamento da qualidade e quantidade da água, fiscalização ambiental, elaboração de mapas, geração de

indicadores, previsão de eventos extremos e apoio às decisões. Esses resultados demonstram que a transformação digital já está presente na gestão dos recursos hídricos e tende a ampliar sua importância nos próximos anos.

Entretanto, o estudo também identificou limitações para a implementação dessas tecnologias, como as principais dificuldades apontadas pelos especialistas destacam-se os custos de implantação elevados e manutenção, a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada, disponibilidade de dados confiáveis, a capacitação da equipe técnica, a integração entre diferentes sistemas de informação e o fortalecimento entre as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Além disso, os especialistas ressaltaram que as tecnologias não substituem a experiência dos profissionais, sendo indispensável a interpretação técnica dos dados para apoiar decisões mais seguras e eficientes.

Outro resultado importante refere-se aos indicadores de segurança hídrica, durante as entrevistas os especialistas evidenciaram que não existe um único indicador capaz de representar toda a complexidade da segurança hídrica. Pelo contrário, os especialistas destacaram que o monitoramento deve ser de forma integrada a indicadores relacionados à qualidade da água, disponibilidade hídrica, monitoramento hidrológico, saneamento, governança, uso da água, eventos extremos e conservação ambiental. Dessa forma, o uso conjunto desses indicadores permite uma visão macro da situação dos recursos hídricos.

O estudo permitiu identificar as principais TICs utilizadas na gestão dos recursos hídricos citadas pelos especialistas, compreender suas aplicações, conhecer os indicadores utilizados no monitoramento da segurança hídrica e analisar a percepção dos especialistas sobre a contribuição dessas ferramentas para a gestão dos recursos hídricos.

Da mesma forma, a pergunta de pesquisa foi respondida, as entrevistas demonstraram que os especialistas percebem as TICs como ferramentas fundamentais para o monitoramento da segurança hídrica, especialmente quando utilizadas em conjunto com indicadores capazes de representar diferentes dimensões da gestão dos recursos hídricos. Os especialistas demonstraram que essas tecnologias apresentam um potencial para ampliar a coleta e a integração de dados, realizar o monitoramento em tempo real, apoiar a construção e o acompanhamento de indicadores, prever cenários críticos e subsidiar a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos.

Ao mesmo tempo, ficou evidente que a efetividade dessas tecnologias depende de fatores que vão além da inovação tecnológica. Para que as TICs possam contribuir de forma efetiva para a segurança hídrica é necessário investir em infraestrutura, garantir a qualidade e

a integração dos dados, capacitar profissionais e promover maior articulação entre as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Assim, conclui que as TICs representam um importante instrumento de apoio à gestão, mas seu sucesso depende da integração entre tecnologia, profissionais capacitados, instituições e políticas públicas.

Como principal contribuição, esta pesquisa reúne e sistematiza a percepção de especialistas sobre o uso das TICs no monitoramento da segurança hídrica, identificando as tecnologias mais utilizadas, limitações e possibilidades de aplicação. Os resultados obtidos podem auxiliar gestores, pesquisadores, instituições de ensino, comitês de bacias hidrográficas e demais organizações envolvidas na gestão dos recursos hídricos, contribuindo para o planejamento de ações voltadas ao fortalecimento da segurança hídrica. Diante desses resultados, considera-se que os objetivos propostos da pesquisa foram alcançados.

Por fim, conclui-se que as TICs representam importantes aliadas para a modernização da gestão dos recursos hídricos, quando associadas ao uso integrado de indicadores de segurança hídrica, à produção de dados confiáveis, essas tecnologias contribuem para tornar o monitoramento mais eficiente, ampliar a capacidade de prevenção de riscos e apoiar decisões mais rápidas e seguras.

Com base nos resultados desta pesquisa, recomenda-se que futuras investigações aprofundem a aplicação prática das TICs em diferentes bacias hidrográficas brasileiras, avaliando seu desempenho em distintos contextos ambientais e institucionais. Sugere-se, também, o desenvolvimento de modelos integrados que combinem Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Sensoriamento Remoto (SR), Big Data e Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) para o monitoramento contínuo da segurança hídrica, permitindo análises em tempo real e maior apoio aos gestores.

Outra possibilidade consiste em desenvolver e validar indicadores integrados de segurança hídrica que contemplem aspectos ambientais, hidrológicos, climáticos, sociais, econômicos e institucionais, contribuindo para avaliações mais completas da situação das bacias hidrográficas. Por fim, recomenda-se realizar estudos sobre estratégias de integração e compartilhamento de dados entre instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, bem como pesquisas voltadas à capacitação de profissionais para utilização das tecnologias inovadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, Rebecca; JORGE, Karina Dino. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados?. **Ambiente & sociedade**, v. 8, p. 99-124, 2005. DOI: 10.1590/S1414-753X2005000200006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/tyBzHpwRXpyXF6bzjcJ3hWh/?lang=pt&format=html. Acesso em: 11 ago. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **O Índice de Segurança Hídrica – PNSH:** 2019. Disponível em: https://pnsh.ana.gov.br/seguranca. Acesso em: 11 ago. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Resolução nº 104, de 8 de outubro de 2021. Aprova o Regimento Interno, o Quadro Demonstrativo de Cargos em Comissão e o Estatuto da Auditoria Interna da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – **ANA**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/Resoluo104.pdf. Acesso em: 11 ago. 2026.

ALMEIDA, Matheus Henrique Baldi et al. Desempenho da técnica deep learning na análise e categorização de imagens de defeito de madeira. **Energia na Agricultura,** v. 33, n. 3, p. 284-291, 2018. DOI: 10.17224/EnergAgric.2018v33n3p284-291. Disponível em: https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/3583. Acesso em: 11 ago. 2026.

ALVES, Ana. P. de A et al. Análise da relação do Índice de Segurança Hídrica com indicadores socioeconômicos em microrregiões de água e esgoto, no Estado da Paraíba, Brasil. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 840–861, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n1-043. Disponível em: https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1944. Acesso em: 10 out. 2025.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ARTAXO, Paulo; RIZZO, Luciana Varanda; MACHADO, Luiz Augusto Toledo. Inteligência artificial e mudanças climáticas. **Revista USP**, São Paulo, Brasil, n. 141, p. 29–40, 2024. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.i141p29-40. Disponível em: https://revistas.usp.br/revusp/pt_BR/issue/view/13310/2831. Acesso em: 5 out. 2025.

BASTOS, Jennifer. E. de S; SOUSA, Julia. M. de J; SILVA, Pollyana. M. N. da ; AQUINO, Rafael. L. de. O Uso do Questionário como Ferramenta Metodológica: potencialidades e desafios . **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences** , [S. l.], v. 5, n. 3, p. 623–636, 2023. DOI: 10.36557/2674-8169.2023v5n3p623-636. Disponível em: https://bjihs.emnuvens.com.br/bjihs/article/view/304. Acesso em: 6 out. 2025.

BEGAS, Gustavo. F.; BERMUDES, Julio Cesar.; SOUZA, Leandro Thiago de; VILLAROEL, Murilo B. Ruíz.; KALILI, Roberto. M. Machine learning na manutenção prescritiva de caldeiras industriais. **Revista Contemporânea**, *[S. l.]*, v. 4, n. 6, p. e4673, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N6-081. Disponível em:

https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/4673. Acesso em: 11 ago. 2026.

BÉVORT, Evelyne ; BELLONI, Maria Luiza. Mídia-educação: conceitos, história e perspectivas. **Educação & Sociedade**, v. 30, n. 109, p. 1081–1102, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/es/a/5pBFdjL4mWHnSM5jXySt9VF/?format=html&lang=pt. Acesso em: 05 out. 2025.

BRANDÃO, Ziany Neiva et al. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. Tese. (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2009. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/8472. Acesso em: 11 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regula o uso da água e dá outras providências. **Diário Oficial da União***:* seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 15 maio 2025.

BRITTO, Ana Lucia; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria; CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira. Water supply and hydrosocial scarcity in the Rio de Janeiro metropolitan area. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 183-206, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/ZTMCTZxyDx6hTys6tJyfg7s/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 11 ago. 2026.

BUKATA, Robert P. **Satellite monitoring of inland and coastal water quality: retrospection, introspection, future directions**. CRC press, 2005.

CAMPOS, Valéria Nagy de Oliveira; FRACALANZA, Ana Paula. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & sociedade**, v. 13, p. 365-382, 2010. DOI: 10.1590/S1414-753X2010000200010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/CSQMWFyvcv8MJV4vkMV6dBm/?lang=pt. Acesso em: 05 out. 2025.

CARRION, Patrícia; QUARESMA, Manuela. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.5965231679630815201904 9. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/3b8a/b3d6312e6b957ccea636f1cd3b1ec297d11e.pdf. Acesso em 11 ago. 2026.

CARVALHO, J. R. M. de; CURI, W. F. Sistema de indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma abordagem através dos métodos multicritério e multidecisor. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 12, n. 2, 2016. DOI: 10.54399/rbgdr.v12i2. Disponível em: https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2327. Acesso em: 11 ago. 2026.

CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4,

2018. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 412–431, 2018. DOI: 10.51359/2238-6211.2018.238239. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/238239. Acesso em: 6 out. 2025.

CHAER, Galdino; DINIZ, Rafael Rosa Pereira; RIBEIRO, Elisa Antônia. A técnica do questionário na pesquisa educacional. **Revista Evidência**, v. 7, n. 7, p. 1–15, 2012. Disponível em: https://www.scribd.com/document/646540528/CHAER-DINIZ-RIBEIRO-A-Tecnica-Do-Questionario-Na-Pesquisa-Educacional. Acesso em: 05 out. 2025.

COELHO, Jorge APM; SOUZA, Gustavo HS; ALBUQUERQUE, Josmário. Desenvolvimento de questionários e aplicação na pesquisa em Informática na Educação. **Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação:** Abordagem Quantitativa de Pesquisa. Porto Alegre: SBC. Série Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação, v. 2, 2020. Disponível em: https://oro.open.ac.uk/80027/1/80027.pdf. Acesso em: 06 out. 2025.

COMITÊS PCJ. Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2020 a 2035**: Relatório síntese.** Executado por Consórcio Profill-Rhama e organizado por Comitês PCJ / Agência das Bacias PCJ. Piracicaba: Consórcio Profill-Rhama, 2021. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-PCJ/19207/relatorio-sintese_pbh-pcj-2020-2035.pdf. Acesso em: 6 out. 2025.

DAMILANO, C. T. Inteligência artificial e inovação tecnológica: as necessárias distinções e seus impactos nas relações de trabalho / Artificial intelligence and technological innovation: the necessary distinctions and their impacts in work relations. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 10, p. 19985–20001, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n10-200. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/3863. Acesso em: 6 out. 2025.

DIAS, Maria A. F. da S. **Eventos climáticos extremos**. Revista USP, v. 103, p. 33-40, 2014.

DOBRE, Ciprian; XHAFA, Fatos. Intelligent services for big data science. **Future generation computer systems**, v. 37, p. 267-281, 2014. DOI: 10.1016/j.future.2013.07.014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X13001593. Acesso em: 06 out. 2025.

FALSARELLA, Orandi; SILVA, Maria Luiza Ramos da; MARIOSA, Duarcides Ferreira. O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: a contribuição da internet das coisas (iot) e big data. **Journal on Innovation and Sustainability RISUS**, v. 13, n. 2, p. 45-58, 2022. DOI: 10.23925/2179-3565.2022v13i2p45-58. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/risus/article/view/56601. Acesso em: 06 out. 2025.

FARIAS, Victor Rafael de Sousa. **Soluções de internet das coisas (IoT) aplicadas ao monitoramento hídrico em reservatórios e cisternas**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/5106. Acesso em 18 mai. 2026.

FECHINE, Alegnoberto Leite; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Uma Forma de Convivência com a Seca: Bacia Hidrográfica do Rio Brígida - Pernambuco - Brasil (A Form of the Living with Drought: Brigida River Watershed-Pernambuco-Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 724–730, 2014. DOI: 10.26848/rbgf.v7.4.p724-730. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233333. Acesso em: 6 out. 2025.

GERHARDT, Tatiana E et al. **Métodos de pesquisa.** 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2008.

GLEICK, Peter; ICELAND, Charles. **Water, security and conflict**. 2018. Disponível em: https://pacinst.org/wp-content/uploads/2018/08/Water-Security-and-Conflict.pdf. Acesso em: 06 out. 2025.

GOKHALE, Pradyumna; BHAT, Omkar; BHAT, Sagar. Introduction to IOT. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, v. 5, n. 1, p. 41-44, 2018. DOI: 10.17148/IARJSET.2018.517. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Omkar-Bhat/publication/330114646_Introduction_to_IOT/links/5c2e31cf299bf12be3ab21eb/Introduction-to-IOT.pdf. Acesso em: 06 out. 2025.

HAMMER, Michael; CHAMPY, James. **Reengineering the corporation:** Manifesto for business revolution, a. Zondervan, 1995.

HART, Jane K.; MARTINEZ, Kirk. Toward an environmental Internet of Things. **Earth and Space Science**, v. 2, n. 5, p. 194-200, 2015. DOI: 10.1002/2014EA000044. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014EA000044. Acesso em: 09 out. 2025.

JANSEN, Euler Paulo de Moura; ABREU, Rogério Roberto Gonçalves de. Inteligência artificial e sustentabilidade: uma união possível?. **Revista Brasileira de Filosofia do Direito**, Florianopolis, Brasil, v. 10, n. 1, 2024. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2526-012X/2024.v10i1.10405. Disponível em: https://www.indexlaw.org/index.php/filosofiadireito/article/view/10405. Acesso em: 9 out. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, M. de A. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: **Atlas**, v. 310, 2017.

LOPES, Yan m.; MOORI, Roberto G. O papel da IoT na relação entre gestão estratégica da logística e desempenho operacional. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 22, p. eRAMR210032, 2021. DOI: 10.1590/1678-6971/eRAMR210032. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ram/a/ngpXgK3x4p7GqhRWPwnDV9k/?lang=pt. Acesso em: 09 out. 2025.

MACHADO, Fernando Henrique. **Proposição de indicadores de segurança hídrica: seleção, validação e aplicação na bacia hidrográfica do rio Jundiaí-Mirim, Jundiaí - SP, Brasil**. 2018. 255 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) — Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Sorocaba, 2018.

MAGRANI, Eduardo. **Internet das coisas, a ed. 1**. Editora FGV, 2018.

MANCINI, Mônica. Internet das Coisas: História, conceitos, aplicações e desafios. **Project Management Institute–PMI**, 2017. Disponível em: http://mmproject.com.br/wp-content/uploads/2020/02/artigo-iot-monicamancini-v1.pdf. Acesso em 09 out. 2025.

MANZINI, Eduardo José. Entrevista semi-estruturada: análise de objetivos e de roteiros. **Seminário internacional sobre pesquisa e estudos qualitativos**, v. 2, p. 58-59, 2004. Disponível em: https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-sul-e-sudeste-do-para/metodologia-da-pesquisa/entrevista-semi-estruturada-analise-de-objetivos-e-de-roteiros/72519776. Acesso em 06 out. 2025.

McAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. **Big data: the management revolution.** Harvard Business Review, v. 90, n. 10, p. 61-67, out. 2012. Disponível em: https://cruconanalytics.com/wp-content/uploads/2014/02/McAfee-Brynjolfsson-Big-Data-The-Management-Revolution.pdf. Acesso em: 11 ago. 2026.

MEHTA, Lyla et al. Justiça ambiental global e o direito à água: O caso das áreas periurbanas de Cochabamba e Delhi. **Geoforum** , v. 54, p. 158-166, 2014. DOI: 10.1016/j.geoforum.2013.05.014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016718513001309?via%3Dihub Acesso em: 06 abr. 2026.

MENDONÇA, Cláudio Márcio Campos; ANDRADE, António Manuel Valente de; SOUSA NETO, Manoel Veras de. Uso da IoT, Big Data e inteligência artificial nas capacidades dinâmicas. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 12, n. 1, p. 131-151, 2018. DOI: 10.12712/rpca.v12i1.1120. Disponível em: https://periodicos.uff.br/pca/article/view/11350. Acesso em: 09 out. 2025.

MORAES, José. M. de et al. Internet das Coisas (IoT): casa inteligente, definições e aplicações. **Revista Brasileira em Tecnologia da Informação**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 31 - 37, 2022. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/851595809/52-Texto-do-artigo-265-1-10-20221230. Acesso em: 11 ago. 2026.

MORAN-GONZÁLEZ, Miguel Ramón; GUERRERO-CALERO, Juan Manuel; MIELES-GILER, Jorge Washington; CABRERA-VERDESOTO, César Alberto. Evaluación de Indicadores para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas Hidrográficas. **Jornal de Pesquisa em Ciências Econômicas e Sociais** , *[S. l.]* , v. 4, pág. 25–38, 2024. DOI: 10.55813/gaea/jessr/v4/n4/129 . Disponível em: https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/129. Acesso em: 6 abr. 2026.

NTI, Emmanuel Kwame et al. Water pollution control and revitalization using advanced technologies: uncovering artificial intelligence options towards environmental health protection, sustainability, and water security. **Heliyon**, v. 9, n. 7, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18170. Disponível em: https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)05378-1. Acesso em 12 ago. 2026.

OECD – Organization for economic co-operation and development. **Water security for better lives**. Paris: OECD, 2013.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Water security & the global water agenda: a UN-Water analytical brief**. Ontario, Canada: United Nations University Institute for Water, Environment & Health (UNU-INWEH), 2013.

PEREIRA, Fernando Henrique; FARINA, Renata Mirella; FLORIAN, Fabiana. Machine learning aplicado ao marketing digital. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-** ISSN 2675-6218, v. 3, n. 6, p. e361618-e361618, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i6.1618. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1618. Acesso em: 09 out. 2025.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 43-60, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/?lang=pt. Acesso em: 09 out. 2025.

RAGOT, Sébastien; REY, Antje; SHAFAI, Ramin. IP lifecycle management using blockchain and machine learning: Application to 3D printing data files. **World Patent Information** , v. 62, p. 101966, 2020. DOI: 10.1016/j.wpi.2020.101966. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0172219019301802. Acesso em: 09 out. 2025.

REVELL, S. **Internet of Things (IoT) and Machine to Machine Communications (M2M) Challenges and Opportunities.** Final Paper, London, UK Google Scholar, 2013.

RICH, E; KNIGHT, K; NAIR, Shivshankar B. **Artificial intelligence**. 3. ed. McGraw-Hill, 1991.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

ROSINI, Alessandro Marco; PALMISANO, Angelo. **Administração de Sistemas de Informação e a gestão do conhecimento**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

RUSSELL, Stuart. **Inteligência artificial a nosso favor:** Como manter o controle sobre a tecnologia. Companhia das Letras, 2021.

SALDANHA, Raphael de Freitas; BARCELLOS, Christovam; PEDROSO, Marcel de Moraes. Ciência de dados e big data: o que isso significa para estudos populacionais e da saúde?. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 29, p. 51-58, 2021. DOI: 10.1590/1414-462X202199010305. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cadsc/a/JWLSWTVvPcKkkbB6p5VPVTL/?format=html&lang=pt. Acesso em: 10 out. 2025.

SANTOS, AC dos; REIS, Alan; MENDIONDO, Eduardo M. Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras. **Revista Dae**, v. 68, n. 225, p. 167-179, 2020. DOI: : 10.36659/dae.2020.060. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343953130_Seguranca_hidrica_no_Brasil_situacao_atual_principais_desafios_e_perspectivas_futuras. Acesso em: 10 out. 2025.

SANTOS, Izequias Estevam dos**. Textos selecionados de métodos e técnicas de pesquisa científica.** Rio de Janeiro (RJ): Ímpetus, 2003.

SANTOS-D'AMORIM, Karen et al. Dos dados ao conhecimento: tendências da produção científica sobre Big Data na Ciência da Informação no Brasil. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 25, p. 1-23, 2020. DOI: 10.5007/1518-2924.2020.e70527. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2020.e70527. Acesso em: 06 out. 2025.

SETTI, Arnaldo Augusto; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; CHAVES, Adriana Goretti de Miranda; PEREIRA, Isabella de Castro. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001. 207 p. Disponível em: https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciamento_de_recursos_hidricos.pdf. Acesso em: 11 ago. 2026.

SICHMAN, Jaime Simão. Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, p. 37–50, 2021. DOI: 10.1590/s0103-4014.2021.35101.004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/c4sqqrthGMS3ngdBhGWtKhh/?format=html&lang=pt. Acesso em: 10 out. 2025.

SILVA, Fabio Leandro da et al. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021. DOI: 10.26848/RBGF.V14.3.P1626-1653. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Silva11/publication/353496778_Gestao_de_recursos_hidricos_e_manejo_de_bacias_hidrograficas_no_Brasil_elementos_basicos_historico_e_estrategias/links/61008e7c1e95fe241a918a32/Gestao-de-recursos-hidricos-e-manejo-de-bacias-hidrograficas-no-Brasil-elementos-basicos-historico-e-estrategias.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

SILVA, Grazielle Roberta Freitas et al. Entrevista como técnica de pesquisa qualitativa. **Online Brazilian Journal of Nursing**, v. 5, n. 2, p. 246-257, 2006.

SILVA, L. M**. Indicadores ambientais e a gestão de bacias hidrográficas de economia agrícola: diagnóstico e reflexões sobre o caso da bacia do rio Preto, noroeste de Minas Gerais**. 2012. 249 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. A pesquisa científica. **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 33-44, 2009.

SOUZA, Sérgio Iglesias Nunes de. Responsabilidade civil e a inteligência artificial nos contratos eletrônicos na sociedade da informação. **Revista dos Tribunais**: São Paulo, v. 97, n. 877, p.27-40, nov. 2008.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira, ALMEIDA, Katiane Cristina de Brito; BARBOSA, Pedro Engler. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13–24, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522016131457. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/4n83rTXFZGHBc5Q5kL7cbcn/?format=html&lang=pt. Acesso em: 10 out. 2025.

TRIVIÑOS, Augusto Nibaldo Silva. Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a Pesquisa Qualitativa em Educação – O Positivismo, A Fenomenologia, O Marxismo. **Formação (Online)**, [S. l.], v. 1, n. 20, 2013. DOI: 10.33081/formacao.v1i20.2335. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/2335. Acesso em: 10 out. 2025.

UN. WATER Water security & the global water agenda: a UN-Water analytical brief [recurso eletrônico]. 2013.

VAN BEEK, Eelco; LINCKLAEN ARRIENS, Wouter. **Water security: putting the concept into practice**. Stockholm: Global Water Partnership, 2014. 55 p. (TEC Background Papers, n. 20). Disponível em: Water Security: Putting the Concept into Practice – PDF. Acesso em 11 ago. 2026.

VIANNA, William Barbosa; DUTRA, Moisés Lima; FRAZZON, Enzo Morosini. Big data e gestão da informação: modelagem do contexto decisional apoiado pela sistemografia. **Informação & Informação**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 185–212, 2016. DOI: 10.5433/1981-8920.2016v21n1p185. Disponível em: https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/23327. Acesso em: 10 out. 2025.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al**. Global threats to human water security and river biodiversity**. Nature, Londres, v. 467, n. 7315, p. 555–561, 2010. DOI: https://doi.org/10.1038/nature09440. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/47743050_Global_Threats_to_Human_Water_Security_and_River_Biodiversity. Acesso em: 06 abr. 2026.

WEBER, R. H. Internet of things – Need for a new legal environment? **Computer Law & Security Report**, n. 25, p. 522-527. 2009. DOI: 10.1016/j.clsr.2009.09.002. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267364909001514. Acesso em: 10 out. 2025.

WEINSTEIN, Ron. RFID: a technical overview and its application to the enterprise. **IT professional**, v. 7, n. 3, p. 27-33, 2005.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Harnessing the Fourth Industrial Revolution for Water**. Fourth Industrial Revolution for the Earth Series. Geneva: World Economic Forum, 2018. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_WR129_Harnessing_4IR_Water_Online.pdf. Acesso em: 11 ago. 2026.

WITTER, Scott G.; WHITEFORD, Scott. Water security: the issues and policy challenges. **International Review of Comparative Public Policy**, v. 11, p. 1-25, 1999.

ZUCCO, Evelyn; COSTA, F. da S.; FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA. Recursos hídricos compartilhados: as relações Luso-Espanholas no primeiro ciclo de planeamento. In: **Congresso Ibérico de gestão e planeamento da água**. Universidade do Minho, 2013. p. 518-525. Disponível em: https://repositorium.uminho.pt/server/api/core/bitstreams/59851240-3ae6-4a91-9430-483c0d65c7a6/content. Acesso em: 11 ago. 2026.

Apêndices 1 - Roteiro de entrevistas semiestruturado

Prezado (a) Participante,

Agradecemos por aceitar contribuir com esta pesquisa sobre os desafios e oportunidades na segurança hídrica e gestão de bacias hidrográficas. Esse estudo faz parte de um projeto aprovado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), no edital de políticas públicas de 2023, desenvolvido por pesquisadores da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Nove de Julho (UNINOVE) em parceria com a Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, que tem como principal objetivo tornar as bacias hidrográficas inteligentes, melhorando a eficiência da gestão dos recursos hídricos ao utilizar Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) inovadoras que auxiliem no monitoramento da segurança hídrica.

O roteiro de entrevista foi elaborado em formato semiestruturado com entrevistas abertas e em profundidade garantindo a fidedignidade das respostas e a confiabilidade das informações. Reforçamos que seus dados serão usados unicamente para fins acadêmicos e científicos.

Por favor, sinta-se à vontade para fornecer respostas amplas e exemplificar suas experiências. Sua participação é fundamental para o sucesso deste estudo.

Público-alvo

Membros de comitês de bacias hidrográficas, gestores públicos, pesquisadores e outros atores que atuam com segurança hídrica e gestão de bacias hidrográficas. Os entrevistados podem ter sua atuação tanto no Brasil quanto em outros países.

Objetivos da pesquisa

- ✓ Validar as tecnologias inovadoras e indicadores encontrados na literatura científica e verificar a existência de tecnologias e indicadores que já estão sendo utilizadas;
- ✓ Realizar um levantamento, análise e apresentar estimativas de viabilidade técnica, operacional, econômica e da efetividade na aplicação das diversas soluções tecnológicas das tecnologias de informação e comunicação que estão sendo ou podem ser utilizadas na produção de indicadores aplicados ao contexto da segurança hídrica;

- ✓ Auxiliar no diagnóstico do que existe de tecnologias inovadoras e o que está sendo desenvolvido para monitorar a segurança hídrica de bacias hidrográficas.

Questões:

As questões são divididas em seis blocos. São eles:

a) Identificação dos participantes

1. Qual é o seu nome, a instituição que você está vinculado(a), cargo e função?
2. Qual é a sua formação acadêmica?

b) Experiência profissional

3. Há quanto tempo você atua na área de segurança hídrica e gestão de recursos hídricos?
4. Em qual região ou bacia hidrográfica você atua principalmente?
5. Com quais projetos ou programas relacionados à gestão de bacias e segurança hídrica você trabalha atualmente?

c) Contexto geral Gestão dos recursos hídricos e segurança hídrica

6. O que você entende por segurança hídrica e gestão de recursos hídricos?
7. Como você descreveria a situação atual da área de atuação da segurança hídrica em sua região?
8. Quais eventos recentes (ex.: seca, enchente, poluição) afetaram a gestão dos recursos hídricos na sua região?
9. Em sua opinião, quais são os maiores desafios para a segurança hídrica e a gestão de bacias hidrográficas em sua região ou área de atuação?
10. Existem desafios particulares que afetam sua região/bacia hidrográfica (ex.: falta de infraestrutura, conflitos de uso da água, mudanças climáticas)?
11. Você acredita que o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação inovadoras podem contribuir para melhorar a gestão de recursos hídricos e segurança hídrica?

d) Perguntas sobre as tecnologias inovadoras

Apresentamos a seguir uma relação de Tecnologias inovadoras encontradas na literatura científica e onde elas são aplicadas.

Tecnologias inovadoras	Aplicação

Sensoriamento remoto	Monitoramento da qualidade da água Monitoramento de águas subterrâneas Monitoramento de águas superficiais Monitoramento da bacia hidrográfica Detecção de vazamentos
IoT	
Inteligência artificial (Machine Learning, Deep Learning, Neural Network)	
Sistemas de apoio a decisão, Big Data	
Realidade Virtual	
Realidade Aumentada	
Machine Vision	

Responda as seguintes perguntas:

12. Quais delas você conhece?
13. Quais delas você entende que tem potencial de melhorar o monitoramento da segurança hídrica?
14. Com o seu conhecimento, quais delas você vê dificuldade de implementação e por qual motivo (viabilidade técnica, viabilidade econômica, e outros)?
15. Quais delas você já utiliza no seu ambiente de trabalho? Descreva onde e como ela é aplicada.
16. Você utiliza alguma outra TIC que considera inovadora diferente das apresentadas? Descreva onde e como ela é aplicada.

e) Perguntas sobre os indicadores

Apresentamos a seguir uma relação de indicadores utilizados no contexto da segurança hídrica encontrados na literatura científica.

Categoria de indicadores	**Indicadores - exemplos**
Demanda de água	Consumo de água agrícola Consumo de água industrial Consumo de água per capita
Disponibilidade de água	Disponibilidade de água subterrânea; Volume de água usado por pessoa em um dia; Volume disponível de recursos hídricos para fins de consumo
Governança da água	Acesso à água potável canalizada Recursos Hídricos Renováveis Potencial para se adaptar a mudanças futuras
Incerteza relacionada a eventos ambientais	Áreas propensas a inundações Áreas propensas a secas Mitigação de desastres
Infraestrutura	Infraestrutura de proteção contra inundações Investimento em águas residuais
Qualidade da água	Cálcio, Nitrato, Ferro, Flúor, Coliforme Fecal Confiabilidade das águas subterrâneas Índice de qualidade da água
Serviços hídricos	Acesso a água potável

	Acesso a saneamento Porcentagem de domicílios com acesso à rede de esgoto

17. Quais deles você conhece?
18. Quais deles você entende que tem potencial de melhorar o monitoramento da segurança hídrica?
19. Com o seu conhecimento, quais deles você vê dificuldade de implementação e por qual motivo (viabilidade técnica, viabilidade econômica, e outros);
20. Quais deles você já utiliza no seu ambiente de trabalho? Descreva onde e como ele é aplicado.
21. Você utiliza algum outro indicador que considera importante para monitorar a segurança hídrica diferente dos apresentados? Descreva onde e como ele é aplicado.

f) Perspectivas futuras e comentários finais

22. Quais inovações tecnológicas e políticas você acredita que terão o maior impacto nos próximos anos?
23. Como a sua instituição pode contribuir para essas mudanças?
24. Há alguma informação adicional que você gostaria de compartilhar ou algum ponto que não foi abordado?

Agradecemos imensamente pela sua participação e disponibilidade em contribuir com este estudo. Suas respostas serão fundamentais para a compreensão dos desafios e oportunidades na segurança hídrica e gestão de bacias hidrográficas. Caso haja necessidade para outros esclarecimentos adicionais, entraremos em contato.