

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

MARCUS VINÍCIUS CHIULLE PINHEIRO

**SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:
PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL**

LINHA DE PESQUISA

Planejamento, Gestão e Indicadores de Sustentabilidade

CAMPINAS

2022

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
SUSTENTABILIDADE
MARCUS VINÍCIUS CHIULLE PINHEIRO

SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:
PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL

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, do Centro de Economia e Administração da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Professor Dr. Orandi Mina Falsarella.

CAMPINAS

2022

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
SUSTENTABILIDADE

MARCUS VINÍCIUS CHIULLE PINHEIRO

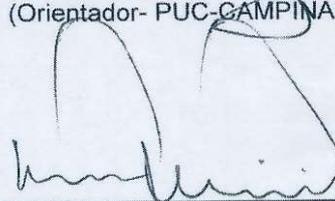
SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL

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

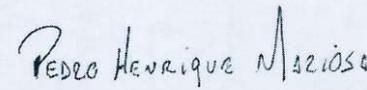
APROVADA: 07 de Dezembro de 2022.



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



Prof. Dr. Duarcides Ferreira Mariosa
(PUC-CAMPINAS)



Prof. Dr. Pedro Henrique Mariosa
(Universidade Federal do Amazonas - UFAM)

CAMPINAS

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

333.91 P654s	<p>Pinheiro, Marcus Vinícius Chiulle</p> <p>Sistemas de apoio à decisão e gestão de recursos hídricos: proposta de um modelo conceitual / Marcus Vinícius Chiulle Pinheiro. - Campinas: PUC-Campinas, 2022.</p> <p>78 f.: il.</p> <p>Orientador: Orandi Mina Falsarella.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Sustentabilidade, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.</p> <p>Inclui bibliografia.</p> <p>1. Recursos hídricos. 2. Big Data. 3. Internet das coisas. I. Falsarella, Orandi Mina. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Economia e Administração. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Sustentabilidade. III. Título.</p> <p>CDD - 18. ed. 333.91</p>
-----------------	---

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a aqueles que buscam através da gestão sustentável da água a diminuição da desigualdade social, o desenvolvimento econômico e o cuidado com o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor Orandi Mina Falsarella, pela ajuda e contribuição como orientador da minha dissertação ao longo destes 2 anos de mestrado. Uma pessoa que sempre esteve disponível e disposta a auxiliar na elaboração do trabalho desde o primeiro dia de aula.

Deixo o meu agradecimento ao professor Diego de Melo Conti, pelo aprendizado e oportunidade durante o estágio em docência na disciplina de “Ética e responsabilidade social”.

Um agradecimento especial a todos os meus professores que compartilharam grandes aprendizados: Bruna Angela Branchi, Candido Ferreira Silva Filho, Cibele Roberta Sugahara, Denise Helena Lombardo Ferreira, Juan Arturo Castañeda Ayarza, Marcos Ricardo Rosa Georges, e Vinícius Eduardo Ferrari.

Por fim um agradecimento especial aos professores Diego Melo Conti por compor a banca de qualificação e agregar contribuições ao trabalho, ao professor Duarcides Ferreira Mariosa por compor a banca de qualificação e banca final, e assim adicionar valor ao trabalho e um agradecimento especial aos professores Pedro Henrique Mariosa e André de Oliveira Garcia por comporem a banca final como professores externos a Pontifícia Universidade Católica de Campinas, também agregando muito valor ao trabalho.

EPÍGRAFE

“A informação é o petróleo do século XXI, e a análise é o motor de combustão”.

Peter Sondergaard.

RESUMO

A sustentabilidade é um tema que hoje possui uma grande importância, e tem como base três principais e diferentes dimensões, a ambiental, a social e a econômica. A fim de que se alcance o desenvolvimento sustentável é fundamental o equilíbrio entre elas. Neste contexto, dentre os bens comuns ameaçados, a água desponta como principal recurso cercado de incertezas quanto à sua disponibilidade futura. A gestão dos recursos hídricos no contexto nacional é realizada através de bacias hidrográficas que estão distribuídas pelo território nacional. A bacia hidrográfica pode ser considerada como um espaço territorial onde se desenvolvem as atividades humanas e pode conter áreas agrícolas, de preservação, urbanas ou industriais. Para a gestão de recursos hídricos é importante possuir dados e informações para auxiliar no processo de tomada de decisão. Diante da quantidade de informações existentes e que precisam ser coletadas muitas vezes em locais distantes e de difícil acesso, como é o espaço de uma bacia hidrográfica, e da necessidade de análise, duas Tecnologias da Informação e Comunicação emergentes podem ser úteis para a criação de um Sistema de Apoio a Decisão, a Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) e o Big Data. Assim, um modelo de Sistema de Apoio a Decisão pode ser benéfico para que a água seja utilizada de forma sustentável contribuindo para o crescimento econômico, desenvolvimento da sociedade e preservação do meio ambiente. O objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual que represente um Sistema de Apoio à Decisão que utilize Tecnologias de Informação e Comunicação com o propósito de fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica. A natureza dessa pesquisa é qualitativa e caracterizou-se como exploratória, os dados deste estudo foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental. Como resultados foi apresentado um modelo conceitual de SAD para fornecer subsídios para tomada de decisão dos gestores na gestão de recursos hídricos.

Palavras chaves: Recursos hídricos, Sistema de Apoio a Decisão, Big Data, IoT.

ABSTRACT

Sustainability is a topic that is of great importance today, and is based on three main and different dimensions, environmental, social, and economic. To achieve sustainable development, a balance between them is essential. In this context, among the threatened common goods, water emerges as the main resource surrounded by uncertainties as to its future availability. The management of water resources in the national context is carried out through hydrographic basins that are distributed throughout the national territory. The hydrographic basin can be considered as a territorial space where human activities are carried out and may contain agricultural, preservation, urban or industrial areas. All urban, industrial, agricultural or conservation areas are part of a watershed. For the management of water resources, it is important to have data and information to assist in the decision-making process. Given the amount of existing information that needs to be collected many times in distant and difficult to access places, such as the space of a watershed, and the need for analysis, two emerging Information and Communication Technologies can be useful for creating a Decision Support System, the Internet of Things (IoT) and Big Data. Thus, a Decision Support System model can be beneficial for water to be used in a sustainable way, contributing to economic growth, development of society and preservation of the environment. The objective of this work is to propose a conceptual model that represents a Decision Support System that uses Information and Communication Technologies with the purpose of providing information and subsidies to assist the decision-making process in the management of water resources within the space of a hydrographic basin. The nature of this research is qualitative and characterized as exploratory, the data of this study were obtained through bibliographic and documentary research. As a result, a conceptual model of SAD is presented to provide subsidies for decision-making by managers in the management of water resources.

Keywords: Water Resource, Decision Support Systems, Big Data, IoT.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ANA: Agência Nacional de Águas
CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DSS: Decision Support System (DSS)
IoT: *Internet of Things*
MMA: Ministério do Meio Ambiente
ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis
OMS: Organização Mundial da Saúde
PNRH: Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH: Plano Nacional de Segurança Hídrica
SAE: Sistemas de Apoio ao Executivo
SAD: Sistemas de Apoio à Decisão
SciELO: *Scientific Electronic Library Online*
SI: Sistemas de Informação
SIG: Sistemas de Informação Gerenciais
SPT: Sistemas de Processamento de Transações
SNIRH: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
TI: Tecnologia da Informação
TIC: Tecnologias da Informação e Comunicação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.....	20
Figura 2 - Representação do ciclo hidrológico	23
Figura 3 - Ciclo de vida da água	30
Figura 4 - Mapa visual para a proposta do SAD.....	53
Figura 5 - Modelo conceitual de SAD para Gestão de Recursos Hídricos	55
Figura 6 – Informações, dados e indicadores da fase de planejamento do SAD	59
Figura 7 - Representação de uma rede de sensores de IoT para coleta do índice pluviométrico	61
Figura 8 - Sensor de IoT para medir volume de água fluvial captada	63
Figura 9 - Representação de uma rede de sensores de IoT medição de volume de água de um rio.....	64
Figura 10 - Principais formas de coleta de informação	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos e características de uma bacia hidrográfica	24
Quadro 2 - Indicadores para cada etapa do ciclo de vida da água.	34
Quadro 3 - Desafios para a gestão de recursos hídricos	35
Quadro 4 - Características e elementos de um SAD.....	46
Quadro 5 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados a Bacia Hidrográfica	49
Quadro 6 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados a Gestão de Recursos Hídricos	50
Quadro 7 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados à TIC	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização do problema	14
1.2	Objetivos gerais e específicos	17
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Bacias Hidrográficas	19
2.1.1	Conceitos e definições	19
2.1.2	Ciclo Hidrológico	21
2.1.3	Disponibilidade Hídrica.....	23
2.2	Gestão de Recursos Hídricos.....	25
2.2.1	Conceitos e definições	25
2.2.2	Segurança Hídrica.....	27
2.2.3	Ciclo de vida da água.....	29
2.2.4	Indicadores para a gestão de recursos hídricos	32
2.3	Tecnologias da Informação e Comunicação.....	36
2.3.1	Conceitos e definições	36
2.3.2	Sistemas de Informação.....	38
2.3.3	Sistemas de Apoio à Decisão.....	41
2.3.4	Internet of Things	43
2.3.5	Big Data.....	44
3	METODOLOGIA	48
3.1	Delineamento da Pesquisa.....	48
3.2	Protocolo para coleta de dados.....	49
3.3	Desenvolvimento da pesquisa	51
4	PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	53
4.1	Planejamento	56
4.2	Coleta de dados e informações.....	60
4.3	Análise	66
4.4	Disseminação da informação.....	68
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS	70
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A sustentabilidade é um tema que hoje possui uma grande importância, e tem como base três principais e diferentes dimensões, a ambiental, a social e a econômica. Para Munck e Souza (2009) a sustentabilidade econômica que possui foco no mercado, busca vantagem competitiva e melhoria de qualidade, a sustentabilidade ambiental se preocupa com utilização sustentável de recursos naturais almejando oferecer produtos ecologicamente corretos, assim minimizando os impactos ambientais. A sustentabilidade social se preocupa com a responsabilidade social, direitos dos cidadãos e equidade. Desta forma, a fim de que se alcance o desenvolvimento sustentável é fundamental o equilíbrio entre elas.

Gadotti (2008, p.46) afirma que:

Sustentável é mais do que um qualificativo do desenvolvimento econômico. Ele vai além da preservação dos recursos naturais e da viabilidade de um desenvolvimento sem agressão ao meio ambiente. Ele implica um equilíbrio do ser humano consigo mesmo e com o planeta e, mais ainda, com o próprio universo (GADOTTI, 2008, p.46).

No contexto da sustentabilidade, dentre os bens comuns ameaçados, a água desponta como principal recurso cerceado de incertezas quanto à sua disponibilidade futura. De acordo com Ribeiro, Santos e Silva (2019) a água é um recurso necessário para o desenvolvimento das atividades industriais, agrícola, pela conservação da biodiversidade e essencial para a sobrevivência humana.

Na gestão de recursos hídricos, segundo Chaffin et al. (2016) existe uma questão fundamental que está ligada com a complexidade, efetividade e aplicabilidade dos instrumentos de gestão e governança.

Poleto (2014) afirma que no Brasil, assim como em outros países, a demanda de água é dividida da seguinte forma: a irrigação de lavouras com 65% de demanda; logo

em seguida vem o uso doméstico com 18%; seguida pela indústria e por último a pecuária. O Brasil, em particular, utiliza também o recurso hídrico para a produção de energia elétrica. Ainda segundo Poletto (2014) os recursos hídricos abrangem a água que circula nos continentes, seja na sua superfície (rios, lagos e lagoas) ou abaixo dela (águas subterrâneas e lençóis de água existentes no subsolo).

De acordo com Porto e Porto (2008), a gestão dos recursos hídricos no contexto nacional é realizada através bacias hidrográficas que estão distribuídas pelo território nacional. A bacia hidrográfica pode ser considerada como um espaço territorial onde se desenvolvem as atividades humanas e pode conter áreas agrícolas, de preservação, urbanas ou industriais. Philippi Jr, Sobral e Carvalho (2019) complementam ao afirmar que as bacias hidrográficas possuem uma função importante por ser uma área regional de gerenciamento e planejamento de águas, assim delimitando as partes de gerenciamento de recursos hídricos.

Porto e Porto (2008) indicam que:

A bacia hidrográfica pode ser então considerada um ente sistêmico. É onde se realizam os balanços de entrada proveniente da água da chuva e saída através do exultório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008, p.45).

Philippi Jr, Sobral e Carvalho (2019) definem que para a gestão sustentável de recursos hídricos é necessário um conjunto mínimo de ferramentas, que são informações e bases de dados sociais acessíveis, uma definição dos direitos de uso, o controle sobre todo e qualquer impacto sobre os sistemas hídricos e dos processos de tomada de decisão.

Desta forma, para a gestão de recursos hídricos é importante ter dados e informações para auxiliar na tomada de decisão, pois segundo Moreira e Meireles (2022) a análise de dados pode deixar este processo mais assertivo. Desta forma, a utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) é interessante.

Turban, Ranier Jr. e Potter (2007) descrevem que quando se utiliza o termo TIC também se associam os Sistemas de Informação (SI), que permitem coletar, armazenar, processar e disseminar informações para fins específicos.

Assim, Laudon e Laudon (2010) afirmam que os SI podem ser classificados como:

- ✓ Sistemas de Processamento de Transações (SPT): podem ser caracterizados como um sistema que realiza e registra transações que são essenciais para o funcionamento da organização.
- ✓ Sistemas de Informação Gerenciais (SIG): São responsáveis por atender gerentes de nível médio, dentre as suas funções, uma das principais é fornecer relatórios sobre o desempenho da organização.
- ✓ Sistemas de Apoio à Decisão (SAD): São responsáveis por auxiliar os gestores na tomada de decisão, utilizando como base modelos para analisar os dados e informações.
- ✓ Sistema de Apoio Executivo (SAE): São utilizados para atualizar e adicionar eventos externos, como exemplo novas leis tributárias. Em adição também possuem informações de um SAD e de um SIG utilizado na organização.

Laudon e Laudon (2010) afirmam que os SAD podem auxiliar os gerentes de nível médio a tomar decisões não usuais. O 'Brien e Marakas (2013) complementam ao dizer que eles dão suporte *ad hoc* aos processos de tomada de decisão aos gestores e outros profissionais de negócios.

Diante da quantidade de informações existentes e que precisam ser coletadas muitas vezes em locais distantes e de difícil acesso, como é o espaço de uma bacia hidrográfica, e da necessidade de análise, duas TIC emergentes podem ser úteis para a criação de um SAD, a Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT) e o Big Data.

IoT pode ser definido como um sistema de dispositivos conectados à internet que por meio de sensores capturam e transmitem informação onde estão instalados (DIVANI; PATIL; PUNJABI, 2016). Dessa forma, tendo em vista o espaço geográfico que uma bacia hidrográfica ocupa, e a busca pela segurança hídrica, existe necessidade da coleta de dados dessa região. Para isso, o IoT pode auxiliar na captura de informações, como por exemplo, a vazão de rios e córregos; o nível das represas; os índices pluviométricos; o consumo rural e urbano de toda população que ocupa o espaço, entre outros.

A partir da captura de dados, Big Data é uma técnica que pode ser utilizado e aplicado para realizar análises e fazer projeções. Kaisler, Armour e Espinosa (2013), descrevem que Big Data pode ser caracterizado por três “Vs”: o primeiro é o Volume, está relacionado ao volume de informações existentes; o segundo é a Velocidade, está relacionado à velocidade com que há o aumento e modificação de dados e informações; e o terceiro é a Variedade, está associado à existência de informações não estruturadas e estruturadas. Em adição, Beulke (2011) apresenta outros dois “Vs”, um deles é a Veracidade, este representa à necessidade de extrair informações e dados que sejam confiáveis, e o outro é o Valor que representa à geração de *insights* quando realizado a análise das informações.

Considerando que a gestão de recursos hídricos deve ser algo bastante complexo se forem considerados os limites de uma bacia hidrográfica, desenvolvimento das atividades produtivas, e a quantidade de informações existentes, necessárias e que precisam ser analisadas, parece que um SAD que utilize TIC emergentes como IoT e Big Data pode ser útil para auxiliar o processo decisório. Assim, um modelo de SAD pode ser benéfico para que a água seja utilizada de forma sustentável contribuindo para o crescimento econômico, desenvolvimento da sociedade e preservação do meio ambiente.

Deste modo, este trabalho de pesquisa procura responder o seguinte questionamento: quais são os principais elementos e informações que devem fazer parte de um SAD que utilize TIC para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos?

1.2 Objetivos gerais e específicos

Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual que represente um Sistema de Apoio à Decisão que utilize Tecnologias de Informação e Comunicação com o propósito de fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Descrever e estruturar as principais características de uma bacia hidrográfica;
- ✓ Descrever e estruturar os principais desafios para a gestão dos recursos hídricos;
- ✓ Descrever e estruturar os principais elementos que devem fazer parte de um SAD;
- ✓ Verificar quais são os componentes necessários para propor o modelo conceitual de um SAD no contexto gestão de recursos hídricos e das TICs.

1.3 Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo do trabalho é a Introdução. Neste capítulo é feita a contextualização e problematização sobre o tema principal da dissertação. Além disso, são criados objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo foi escrita a Fundamentação Teórica, onde são apresentadas as bases teóricas e são realizadas discussões sobre dos seguintes temas:

- Bacia Hidrográfica,
- Gestão de Recursos Hídricos,
- Tecnologias da Informação e Comunicação.

No terceiro capítulo foi descrita a metodologia de pesquisa e o método utilizado para chegar na proposta de um modelo conceitual para um SAD que possa auxiliar a gestão de recursos hídricos.

No quarto capítulo foi apresentado a contribuição científica e o detalhamento do SAD proposto no trabalho.

Por fim, no quinto capítulo serão descritas as conclusões e sugestões para novos trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bacias Hidrográficas

2.1.1 Conceitos e definições

De acordo com Porto e Porto (2008) a bacia hidrográfica pode ser considerada uma área onde se desenvolvem as atividades humanas. O território definido como bacia hidrográfica pode conter áreas de preservação, regiões urbanas, espaços industriais e agrícolas. Em adição, Zakia e Lima (2000) afirmam que bacias hidrográficas são sistemas abertos, que através de agentes climáticos recebem energia e perdem a mesma energia por causa do deflúvio, sendo consideradas variáveis independentes que transitam dentro de um padrão, com isso, mesmo que sejam perturbadas por uma ação antrópica, sempre estarão em equilíbrio dinâmico.

Para Tonello (2005), uma bacia hidrográfica possui um importante papel no processo do ciclo hidrológico, tendo em vista que em seu espaço acontecem deflúvios, a evapotranspiração e os escoamentos superficiais e subsuperficial. Attanasio (2004) descreve que o termo Bacia Hidrográfica pode ser definida como uma divisão geográfica natural que é delimitada por divisores de água. Seguindo a mesma linha Borsato e Martoni (2004) definem como uma área delimitada por divisores de água, que as separam de outras bacias e servem para captura natural de água através de precipitações das superfícies. Podem ser consideradas uma rede de drenagem, formada pela junção dos cursos d'água, convergem os escoamentos da água para a seção do exultório, sendo esse o ponto de saída.

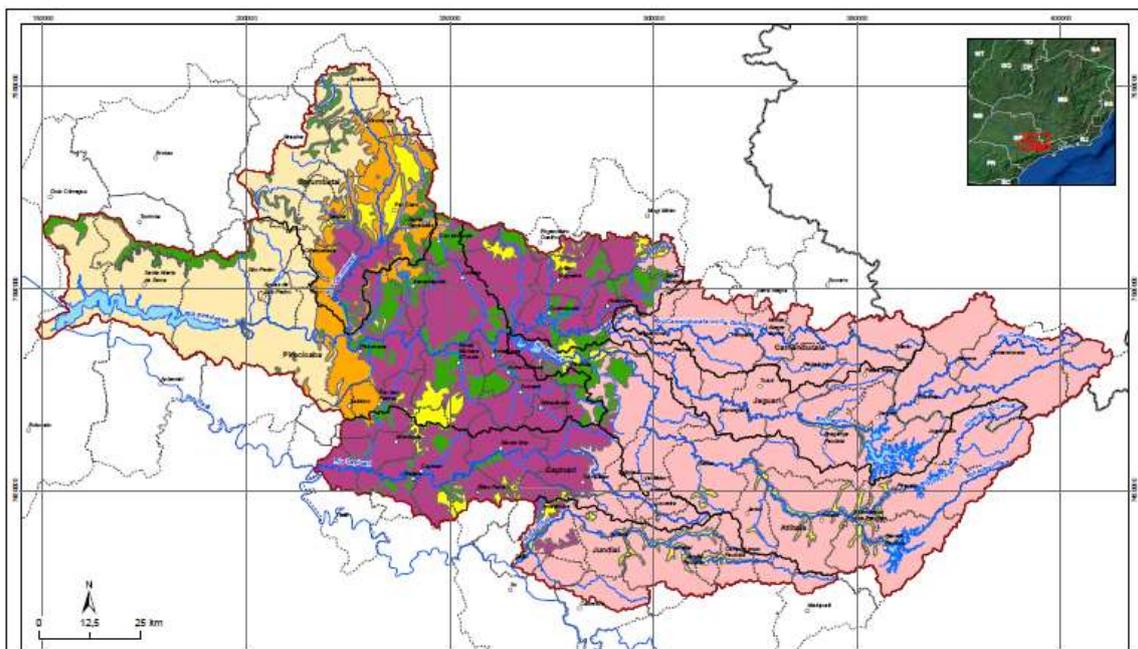
Barella et al. (2000) definem que bacias hidrográficas podem ser um conjunto de terras drenadas por meio de um rio e os seus demais afluentes, que são formados nas regiões mais altas pelos divisores de água, sejam por águas da chuva, ou infiltração de solo para a formação de lençol freático, ou escoam e assim geram riachos e rios. As águas superficiais tendem a escorrer para as áreas mais baixas de um terreno, formando rios e riachos, que se juntam com outros riachos, aumentando assim o volume dos cursos de

água, desta forma, formando os primeiros rios, e esses rios continuam o seu trajeto recebendo água de outras fontes, assim, formando rios maiores e desembocando nos oceanos. Braga et al. (2005) afirmam que a bacia hidrográfica pode ser entendida pela presença de um conjunto de drenagem que converge a água precipitada até o seu ponto mais baixo.

Guerra e Cunha (1996) descrevem que as bacias hidrográficas são unidades de gestão e integração dos elementos naturais e sociais, ou seja, pode-se acompanhar as mudanças feitas pelo homem e as respectivas respostas da natureza. Complementam ao dizer que as bacias hidrográficas estão sendo utilizadas como unidade de planejamento e gerenciamento, compatibilizando os vários usos e interesses pela água e desta forma buscando qualidade e quantidade.

Para exemplificar e demonstrar graficamente, na Figura 1 é possível observar a representação de três bacia hidrográficas, da ordem da esquerda para direita, temos a Bacia do Rio Piracicaba, Bacia do Rio Capivari e Bacia do Rio Jundiá, que estão sobre controle do Comitê de Bacias Hidrográficas PCJ, localizada no estado de São Paulo.

Figura 1 – Representação das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.



Fonte: Plano de recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2020-2035.

A partir dos estudos sobre Bacia Hidrográfica é possível identificar que termos como “sub-bacias” e as “microbacias” hidrográficas podem ser encontradas em diversos estudos. Santana (2003) descreve que uma bacia hidrográfica pode ser dividida em um número indefinido de sub-bacias, desde um ponto de saída até seu eixo-tronco ou canal coletor. Attanasio (2004) complementa ao dizer que é uma unidade física determinada como uma área de terra drenada por um curso d’água, perifericamente, denominado de divisor de água. Mosca (2003) aponta que a microbacia hidrográfica é tida como a menor unidade do ecossistema, em que é possível observar a relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, com isso é possível identificar e monitorar os impactos ambientais.

Martins et al. (2005) descrevem que sub-bacias hidrográficas podem ser definidas por uma divisão de área entre 200 km² e 300km². Por outro lado, de acordo com Faustino (1996), uma microbacia pode conter toda a sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, desta forma, um conjunto de microbacias formam uma sub-bacia, tendo em vista que a área total de uma microbacia é menor que 100 km². Segundo Lana, Alves e Castro (2001) as microbacias hidrográficas podem ser compreendidas como uma área geográfica que é delimitada pelos divisores de água que alimentam pequenos tributários.

Attanasio (2004) descreve que a microbacia pode ser considerada como uma unidade básica de planejamento com a finalidade de preservação dos recursos naturais, elas possuem aspectos geomorfológicos, ecológicos e sociais, assim possibilitando uma abordagem participativa e holística, envolvendo estudos interdisciplinares para estabelecer uma forma de desenvolvimento sustentável.

2.1.2 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é relacionado diretamente com a hidrologia, envolve muitos processos hidrológicos que possuem influência nas bacias hidrográficas, de maneira que podem interferir na dinâmica das bacias hidrográficas e possui uma grande

importância para a manutenção dessa, seja pela precipitação, interceptação pluviométrica, fluxos de água no solo e escoamento por tronco (KOBAYAMA, 1999).

Para que se possa entender o ciclo hidrológico Villela e Mattos (1975) descrevem que ele tem o seu início com a evaporação das águas provindas do oceano. O vapor resultante é levado através das massas de ar e é condensado, formando, assim, as nuvens que por sua vez tem como resultado a precipitação. Logo, essa precipitação é prontamente dispersada de inúmeras formas, ou seja, grande parte fica por um determinado tempo retido no solo próximo de onde caiu e logo após retorna à atmosfera, seja por meio da evaporação ou da transpiração das plantas. Desta forma, uma fração da água que restou escoou sobre a superfície do solo por infiltração ou vai do solo até os rios, enquanto uma outra fração penetra no solo suprimindo o lençol de água subterrâneo.

Miranda, Oliveira e Silva (2010) descrevem que o ciclo hidrológico pode ser definido como uma sucessão de diversos processos provenientes da natureza em que a água inicia o seu percurso indo de um estágio inicial até retornar a sua forma de origem. O fenômeno de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, tem como impulsor a energia solar e é associado à rotação e gravidade terrestre.

Os principais componentes que são parte do ciclo hidrológico são: a precipitação da água; a evaporação ou evapotranspiração da água; a drenagem para os rios, pelo escoamento superficial e profundo; a convergência de umidade pela atmosfera, tendo em vista o transporte de vapor de água para diversas regiões e a variação do volume de água que é armazenado na atmosfera, em solos e nas reservas subterrâneas (CORREIA et al., 2007).

Segundo a ANA (2021) o ciclo hidrológico pode ser representado conforme a Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Representação do ciclo hidrológico



Fonte: Agência Nacional das Águas, 2021.

De acordo com a ANA (2021) as entradas de água no ciclo hidrológico podem ocorrer através da a chuva e em algumas regiões através do degelo da neve. A água quando precipita, parte é infiltrada nos solos, uma outra parte escoas nos rios e o restante é da água é evaporado. Dentro desse ciclo a vegetação possui papel influente, pois, a água que é precipitada pode ser absorvida pelas raízes e posteriormente volta para a atmosfera através da transpiração da vegetação ou por meio da evaporação dos oceanos e rios

2.1.3 Disponibilidade Hídrica

Kramer (1998) descreve que a disponibilidade hídrica é entendida como um a variação de vazão de água em um intervalo de tempo, onde parte dessa água está sendo utilizado pela população para o desenvolvimento e a outra parte está na bacia hidrográfica para a preservação da integridade do meio ambiente, visando, assim, atender formas de usos que não extraem ou derivem de um curso natural, como exemplos, a navegação e recreação.

A disponibilidade hídrica não deve ser somente a única variável explicativa para o desenvolvimento regional de uma nação. Reservas hídricas, quando medidas em números não conseguem traduzir um valor quanto à disponibilidade, mas somente, quanto à potencialidade. Esses conceitos se diferenciam pois um é sensível às pressões antrópicas sobre os sistemas naturais, desta forma, impõe a consideração conjunta em relação a qualidade e quantidade de água (LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005).

Além disso, atualmente, a disponibilidade hídrica pode ser considerada uma informação básica que pode apoiar a decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, além disso, tem como objetivo “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”, conforme disposto no artigo 11 da Lei Federal 9433 (BRASIL, 1997).

Cruz e Tucci (2007) descrevem que a disponibilidade hídrica pode possuir algumas condicionantes de variabilidade no tempo, no espaço e não está limitada ao uso consuntivo, mas também às alterações que podem produzir no hidrograma do rio em relação às condições pré-existentes. As condicionantes contêm restrições qualitativas e quantitativas e são estabelecidas para:

- ✓ Atender as diversas formas de usos ao longo do tempo e do espaço;
- ✓ Manter a integridade ambiental.

Para Cruz (2001) existe uma diferença entre a disponibilidade hídrica e disponibilidade hídrica para outorga. A primeira pode ser definida como o somatório das vazões no decorrer de um ano, sendo que parte desse volume é utilizado para o desenvolvimento da sociedade e parte é retida nas bacias hidrográficas com o objetivo de conservar e fazer a manutenção de seu sistema ambiental e para o uso de atividades que valor de um curso natural, como exemplo recreação e navegação. A disponibilidade hídrica para outorga é a informação básica e necessária de apoio a tomada de decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Com isso a disponibilidade não se refere ao volume de água, mas também as condições indicadoras de menor ou maior capacidade de diluição do poluente.

À vista dos conceitos descritos, o Quadro 1 procura sintetizar os principais conceitos e características de uma bacia hidrográfica encontradas na literatura.

Quadro 1 - Conceitos e características de uma bacia hidrográfica

Características	Fonte
------------------------	--------------

A Bacia Hidrográfica pode ser considerada uma área onde se desenvolvem as atividades humanas, pode conter áreas de preservação, regiões urbanas, espaços industriais e agrícolas.	Porto e Porto (2008);
Bacias Hidrográficas são utilizadas como unidade de planejamento e gerenciamento.	Guerra e Cunha (1996)
Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias e microbacias.	Santana (2004), Attanasio (2004)
O ciclo hidrológico é relacionado diretamente com a hidrologia, envolve muitos processos hidrológicos que possuem influência nas bacias hidrográficas.	Kobiyama (1999)
Entendimento do ciclo hidrológico e as suas etapas. a precipitação da água; a evaporação ou evapotranspiração da água; a drenagem para os rios, pelo escoamento superficial e profundo;	ANA (2021) e Correia et al. (2007)
A disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio a decisão sobre em recursos hídricos.	Brasil (1997)
A disponibilidade hídrica é calculada pela diferença da água está sendo utilizado pela população para o desenvolvimento e a outra parte está na bacia hidrográfica e por fatores antrópicos.	Kramer (1998)

Fonte: autor do trabalho.

Os conceitos e características de uma bacia hidrográfica apresentados no Quadro 1 servirão como síntese para a proposta do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.

2.2 Gestão de Recursos Hídricos

2.2.1 Conceitos e definições

A água é um bem essencial, com isso, é importante uma atenção quanto a sua preservação, gestão e uso. Segundo a ANA (2021) a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), descrita na Lei nº 9.433/1997, é o 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 a Lei nº 9.433/1997 que a gestão de recursos hídricos busca cumprir:

- Garantir a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para a atual e futuras gerações;
- Assegurar a utilização coerente e integrada da água;
- Proporcionar uma defesa adequada contra eventos hidrológicos críticos, oriundos de um uso impróprio dos recursos naturais.

Ainda, de acordo com ANA (2021) existem cinco instrumentos de gestão de recursos hídricos que são descritos na PNRH:

- 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;
- Um sistema de informação estruturado e atualizado.

Dentre esses cinco instrumentos pode-se perceber um inter-relacionamento entre eles, como exemplo, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos necessita da criação de um plano de recursos hídricos. Além disso, para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos demanda a observação da classe de enquadramento do corpo d'água.

Para Sirvinkas (2015), o fato de a água ser um bem indispensável, determina o modelo atual de descentralização e com participação social, com isso, a gestão de recursos hídricos é integrada à gestão ambiental, à vista dos seguintes fundamentos:

- A natureza pública da água;
- A delimitação de valor econômico e como um recurso natural que é finito;
- Utilização da bacia hidrográfica como a unidade de planejamento;
- Os diversos usos da água;
- Em caso de escassez, definição do uso prioritário dos recursos hídricos para o abastecimento humano e dessedentação de animais.

Para Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) no decorrer do tempo a legislação sofreu consideráveis modificações, desta forma, promovendo a organização institucional mais clara, um melhor controle, adicionou conceitos sustentáveis e tecnologias com o objetivo de detecção de impactos, vulnerabilidade, prevenção e análise de riscos. Além disso, a água pode ser utilizada como um fator econômico e de desenvolvimento de social, sendo assim, existe uma alteração no enfoque do gerenciamento, com oportunidades econômicas, incentivando a utilização da água na economia regional e água de boa qualidade como fator de vida. Em adição, complementa ao dizer que a gestão de recursos hídricos utilizando a bacia hidrográfica como unidade de gestão, oferece a oportunidade de integrar a pesquisa, o gerenciamento e a colaboração da sociedade em um amplo processo.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) complementam ao descrever que os novos paradigmas identificados na gestão dos recursos hídricos envolvem a necessidade de uma base de dados que seja sustentada através da pesquisa científica, com a finalidade de gerar informações e valores necessários para a tomada de decisões pelos gestores. É necessário um desenvolvimento de mais ferramentas para auxílio da gestão dos recursos hídricos que sejam capazes de realizar previsões com base em simulações e uma análise dos riscos e vulnerabilidade envolvidas.

2.2.2 Segurança Hídrica

A escassez hídrica é um problema que afeta diversas regiões. A utilização da água como recurso para o desenvolvimento socioeconômico cresceu em uma taxa de utilização duas vezes maior do que a taxa de crescimento populacional no século passado, além disso, existe uma preocupação pois um número crescente de regiões está atingindo o limite em que os serviços de água podem ser fornecidos de forma sustentável, especialmente nas regiões áridas. (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2021).

A água é um recurso escasso, logo, é interessante que exista um foco na sua gestão. A administração integrada de recursos hídricos fornece uma ampla estrutura para os governos alinharem os padrões de uso da água com as necessidades e demandas de

diferentes usuários, incluindo o meio ambiente. (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2021)

Segundo Tucci e Chagas (2017) a segurança hídrica está ligada à escassez da água, desta forma, é razoável associarmos que a segurança hídrica está relacionada com a gestão de recursos hídricos, entendendo os riscos envolvidos para o atendimento das necessidades que utilizam a água como recurso.

Para Cook e Bakker (2012), a segurança hídrica é a associadas a um conjunto de regras que possui o objetivo de direitos às quantidades desejadas de água. Assim como na gestão integrada dos recursos hídricos, a segurança hídrica dispõe de uma abordagem paradigmática para a análise dos sistemas hídricos, que se integra em todas as escalas (do local ao global) e incorpora questões de qualidade e quantidade de água.

Logo, Cook e Bakker definem:

Em outras palavras, a segurança da água fornece uma estrutura que se presta a uma "visão", que é normativamente orientada para um objetivo (na medida em que a segurança implica um estado particular). Sugerimos que isso é positivo porque concentra a atenção no objetivo final (segurança hídrica), em vez do processo de "gestão integrada". O uso do termo "segurança" implica limites (abaixo dos quais a água é insegura) - que pode ser útil em situações em que o monitoramento e a fiscalização não existam (COOK e BAKKER, 2012, p.98).

Desta forma, a Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolveu o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH). Segundo a ANA (2021) no PNSH foi concebido o Índice de Segurança Hídrica, este é composto pelas seguintes dimensões:

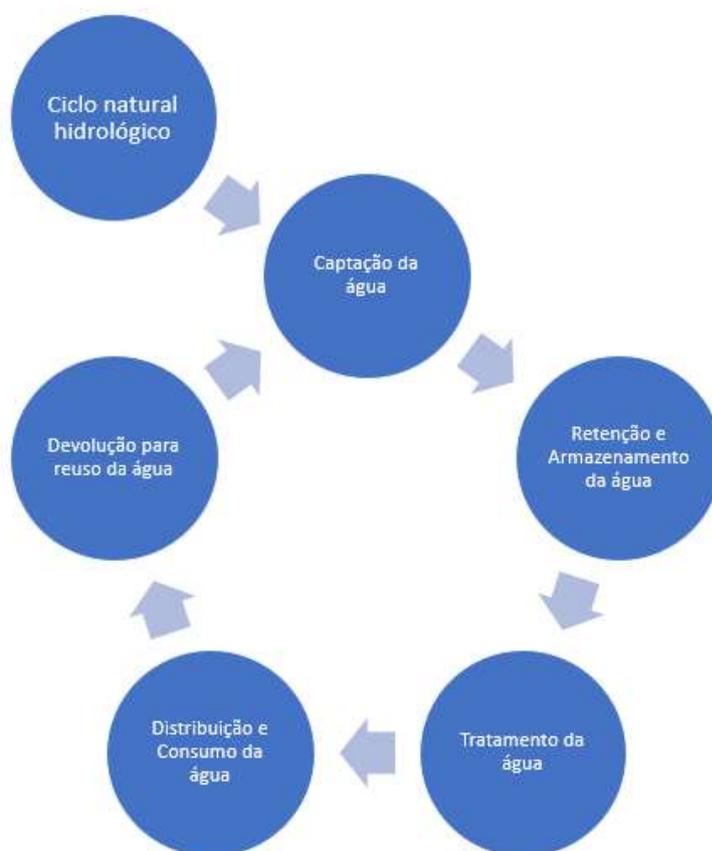
- Humana – Nas áreas em que a disponibilidade de água para o abastecimento humano não é suficiente com a infraestrutura hídrica presente, assim, sendo necessário novos investimentos;
- Econômica – Em relação aos impactos que podem ser gerados a partir de déficits de atendimento as demandas do setor econômico.

- Ecosistêmica – De modo a viabilizar o uso da água de diversas formas é importante assegurar a disponibilidade da água em qualidade e quantidade;
- Resiliência: As águas subterrâneas e superficiais podem ser consideradas reservas importantes que conferem maior resiliência em um período de seca.

2.2.3 Ciclo de vida da água

A gestão de recursos hídricos pode ser considerada complexa e cercada de desafios que podem estar relacionados à coleta e análise de informações ao longo do ciclo de vida da água. De acordo com Silva, Falsarella e Mariosa (2022) o ciclo de vida da água é composto pelas seguintes etapas: entrada pelo ciclo natural hidrológico; captação da água; retenção e armazenamento de água; tratamento da água; distribuição e consumo da água e; devolução da água para reuso. A Figura 3 ilustra o ciclo de vida da água.

Figura 3 - Ciclo de vida da água



Fonte: autor, adaptado de Silva, Falsarella e Mariosa (2022) .

Uma forma de entrada de água para uso da sociedade é por meio do ciclo hidrológico natural como descrito anteriormente.

Dentre as formas de captação existe a captação de águas subterrâneas, essa água é destinada ao abastecimento doméstico, industrial e o manancial complementar para o abastecimento público (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020). Por outro lado, pode ser feito a captura da água da chuva através de um sistema de captação de água da chuva, ou cisternas (um reservatório de água). Os sistemas de captações de água pluviais são soluções que vem ganhando relevância em âmbito nacional, nesse sentido, foi criado a lei 13.501/2017 que tem como objetivo incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (ENGENHEIROS SEM FRONTEIRAS, 2019). Outra forma para captação de água são as captações fluviais, segundo Christofolletti (1980) acontecem através do desvio canais fluviais entre as bacias hidrográficas. A ANA (2021) complementa ao indicar que essa água captada através de rios e represas também podem

ser utilizadas em diversos setores, como abastecimento rural, uso industrial e uso doméstico.

De acordo com a ANA (2021) para a retenção e armazenamento de água existem os reservatórios artificiais, cujo principal objetivo é aumentar a segurança hídrica através do armazenamento da água, assim garantido as diversas formas de uso da água. Além disso, é feito um acompanhamento dos níveis dos reservatórios, desta forma, é possível estimar a quantidade de água armazenada.

A ANA (2021) descreve que para o tratamento da água existem estações de tratamento, que estão distribuídas pelo território nacional, monitorando vários índices relacionados a água, assim, formando uma rede de monitoramento. Nessas estações, parâmetros relacionados a qualidade das águas superficiais são monitorados para avaliar a adequação aos distintos usos e os possíveis impactos de fontes de poluição.

Após o armazenamento e tratamento da água, esse recurso pode ser distribuído para consumo. A água é levada até reservatórios estrategicamente localizados em cada região e segue por tubulações das redes de distribuição até chegar ao consumidor final que fará o uso (SABESP, 2020). Após a distribuição, dentre as formas de consumo, a água pode ser utilizada por diversas maneiras, como: agricultura, setor industrial e uso doméstico. Além disso, segundo Silva, Falsarella e Mariosa (2022) é interessante saber o volume de água armazenado nos rios, represas e riachos de uma bacia hidrográfica.

Após a distribuição e consumo da água, Fernandes (2006) descreve que desde a década de 90 o reuso de águas pode ser considerado como uma forma de enfrentar as questões ambientais visando um desenvolvimento sustentável. O Reuso de água é quando se utiliza desse recurso por mais de uma vez após o seu tratamento. Em adição, a água pode ser utilizada com diferentes propósitos, podendo ser para minimizar impactos causados por lançamento de esgotos sem tratamento nos rios ou com o objetivo de preservar os recursos hídricos existentes visando atingir a sustentabilidade. O autor complementa ao indicar em alguns países do mundo, o reuso de água planejado é uma solução adotada em diversos processos. O reuso pode ser indireto ou direto:

- ✓ Reuso indireto: este tipo de reuso acontece quando a água utilizada é descartada nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, desta forma pode ser diluída, e posteriormente pode ser coletada para um novo uso;
- ✓ Reuso direto: acontece quando existe um planejamento de reuso da água, onde a água é conduzida do local de produção ao ponto de utilização, desta forma a água não é lançada ou não é diluída previamente nos corpos hídricos subterrâneos ou superficiais.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) classifica o reuso de água em outras duas distintas categorias: potável e não potável. O reuso potável é feito através do esgoto recuperado, feita por meio de uma forma de tratamento avançado. Após esse tratamento, a água pode ser reutilizada. O reuso de água não potável se caracteriza quando a água utilizada de lavatórios, chuveiros, tanques, máquinas de lavar roupa e louça, não é tratada, logo, essas são conhecidas como as águas cinzas de uma edificação (MORELLI, 2005).

2.2.4 Indicadores para a gestão de recursos hídricos

A captação de dados e informações podem ser úteis para o planejamento da gestão de recursos hídricos. Santos (2012) evidencia que a utilização de indicadores é capaz de contribuir e orientar os gestores públicos e a sociedade na tomada de decisão. Os indicadores podem fornecer evidências de um problema de larga escala, com isso, transmitem a informações e os dados de uma forma esclarecedora sobre os fenômenos que não são imediatamente detectáveis.

Rodrigues (2010) detalha que os indicadores podem ser considerados como uma forma de classificar fenômenos utilizando os mais diversos aspectos da sociedade revelado em formas de medidas que são transformadas em informações. A utilização das expressões “indicadores econômicos”, “indicadores sociais”, “indicadores ambientais” e “indicadores de saneamento”, nos diversos segmentos, seja acadêmico, político ou mídia, destacam a importância da sua utilização. Logo, pode-se entender que os indicadores possuem uma importância informativa e ilustram diversos aspectos da sociedade.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) estabelece que os indicadores são informações quantificadas, com um caráter científico. A sua compreensão deve ser simples e pode ser utilizado por processos de tomada de decisão em diversos níveis da sociedade, podendo ser utilizado como instrumento para avaliação de determinados fenômenos apresentando como resultado as tendências e progressos que se alteram ao decorrer do tempo (BRASIL, 2018).

Na atualidade há um grande interesse na busca por indicadores que possam servir como fonte de planejamentos regionais e setoriais, principalmente indicadores que sejam úteis no acompanhamento de gestão de políticas públicas. Para Santos (2012) indicadores são instrumentos de planejamento que possui o objetivo de orientar e gestores públicos na tomada de decisão e no desenvolvimento do meio ambiente e da qualidade de vida.

Os indicadores são sínteses, podendo ser um número, de informações que são relevantes. Seu objetivo é descrever um fenômeno no qual as informações se inserem. (HAMDAN; LIBÂNIO; COSTA, 2019). Além disso, uma das principais funções de um indicador é converter dados brutos em informações de simples entendimento, desta forma, transformando os dados em modelos simplificados da realidade com informações facilmente entendíveis (MAGALHÃES JR, 2007).

Á vista disso, percebe-se que os indicadores podem ser entendidos como ferramentais úteis na identificação de áreas que necessitam de melhorias na gestão de recursos hídricos, assim, servido como base para formulação de políticas para o setor.

No contexto da gestão de recursos hídricos existem indicadores que podem ser interessantes para a tomada de decisão, como exemplo, dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), o ODS 6 (Água potável e saneamento), possui uma meta que é implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça. Para possuir uma forma quantitativa de medir o quão perto ou distante uma região está da meta foi criado o indicador de “Proporção das áreas de bacias hidrográficas transfronteiriças abrangidas por um acordo operacional para cooperação hídrica”. Este indicador tem como um dos objetivos avaliar a proporção

de bacias hidrográficas que possuem acordos de cooperação técnica entre países fronteiriços para gestão dos recursos hídricos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2021).

Dada a relevância dos indicadores para a gestão de recursos hídricos e a importância de se coletar e analisar informações nas etapas do ciclo de vida da água dentro do território de uma bacia hidrográfica, o Quadro 2 busca exemplificar indicadores que podem ser utilizados em cada uma delas para auxiliar o processo decisório.

Quadro 2 - Indicadores para cada etapa do ciclo de vida da água.

Etapas do ciclo de vida da água	Indicadores	Fonte
Ciclo hidrológico natural	<ul style="list-style-type: none"> • Índice pluviométrico (mm/h) 	Guimaraes, Reis e Landau (2010)
Captação	<ul style="list-style-type: none"> • Proporção de captações superficiais em relação ao total (%) • Proporção de captações subterrâneas em relação ao total (%) 	Ferraz et al. (2007)
Retenção e Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de água disponível em uma represa. • Nível de água existente nos reservatórios. 	Ferraz et al. (2007) e Silva, Falsarella e Mariosa (2022)
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> • IQA-Índice de Qualidade de Água • IAP-Índice de Qualidade de Água para Abastecimento Público 	Ferraz et al. (2007)
Distribuição para/e Consumo	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda total de água (m³/s) 	Ferraz et al. (2007)
Devolução para reuso	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de água utilizado para reuso direto; 	Ferraz et al. (2007)

	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de água utilizado para reuso indireto. 	
--	---	--

Fonte: autor do trabalho.

Baseado nos conceitos descritos sobre a Gestão de Recursos Hídricos, o Quadro 3 procura sintetizar os principais desafios para a gestão de recursos hídricos encontrados na literatura.

Quadro 3 - Desafios para a gestão de recursos hídricos

Desafios	Fonte
Atender a Política Nacional de Recursos Hídricos, descrita na Lei nº 9.433/1997.	ANA (2021)
Garantir a disponibilidade de água em qualidade e quantidade para a atual e futuras gerações	ANA (2021)
Assegurar a utilização coerente e integrada da água.	ANA (2021)
Proporcionar uma defesa adequada contra eventos hidrológicos críticos, oriundos de um uso impróprio dos recursos naturais.	ANA (2021)
Garantir a utilização dos instrumentos de gestão de recursos hídricos	ANA (2021)
Entender os desafios que cercam o ciclo de vida da água dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.	Silva, Falsarella e Mariosa (2022)
Buscar a melhor forma de coleta e análise de informações que fazem parte do longo do ciclo de vida da água, no espaço de uma bacia hidrográfica.	Silva, Falsarella e Mariosa (2022)
Atingir a Segurança Hídrica pode através da disponibilidade de água em quantidade e qualidade.	Tucci e Chagas (2017)
Utilizar indicadores capazes de contribuir e orientar os gestores na tomada de decisão.	Santos (2012)
Possuir uma base de dados que seja sustentada através da pesquisa científica, com a finalidade de gerar	Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020)

informações e valores necessários para a tomada de decisões pelos gestores.	
---	--

Fonte: autor do trabalho.

Estes desafios para a gestão de recursos hídricos tem a finalidade de auxiliar na proposta do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para a gestão de recursos hídricos, principal objetivo deste trabalho, que utiliza de TIC para coleta e análise de informações no espaço de uma bacia hidrográfica

2.3 Tecnologias da Informação e Comunicação

2.3.1 Conceitos e definições

A tecnologia é um conjunto de técnicas e ferramentas que podem auxiliar o desenvolvimento sustentável. Problemas relacionados às três dimensões da sustentabilidade, ambiental, social e econômico, podem ser resolvidos criativamente utilizando Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) (SINGH, 2021).

Para Lloyd (2006) o termo TIC deve ser visto como algo que mantém seu uso em governos, negócios, indústrias. Uma definição de TIC é que:

Geralmente se refere às tecnologias que são usadas para acessar, coletar, manipular e apresentar ou comunicar informações. As tecnologias contêm hardware (por exemplo, computadores e outros dispositivos); Aplicações de Software; e conectividade (por exemplo, acesso à Internet, infraestrutura de rede local, vídeo conferência). O que é mais significativo sobre as TIC é a crescente convergência tecnologias baseadas em computador, multimídia e de comunicação e a rápida taxa de mudança que caracteriza tanto as tecnologias quanto seu uso (CLARKSON e TOOMEY, 2001, p.3).

Segundo Zuppo (2012) a sigla TIC é usada de forma diferente na academia. O alcance das definições dentro de cada tipo de aplicação em todo o mundo pode variar muito, no entanto, a definição primária de informação e tecnologias de comunicação gira

em torno dos dispositivos e infraestruturas que facilitam a transferência de informações por meio digital.

Para Al-Rahmi et al. (2020) a TIC possui uma grande influência em aspectos das nossas vidas (profissionais e pessoais), melhorando o compartilhamento de conhecimento e aumentando a informação e fluxo de comunicação. O desenvolvimento contínuo das TIC levou a inúmeros desafios para a sociedade. As TIC transformaram os processos de trabalho nas organizações, provocaram mudanças de paradigma em diversos setores.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) tem utilizado as TIC para a vigilância em saúde pública. Como exemplo, durante um desastre, como um terremoto ou tsunami, telefones celulares com capacidade de GPS podem ajudar os trabalhadores humanitários e equipes de emergência na coleta de informações e localização daqueles que precisam de assistência. Em 2006, a OMS apresentou a proposta de que as TIC poderiam ser potencialmente úteis na resposta a desastres naturais (ZUPPO, 2012).

Um outro exemplo sobre utilização de TIC, a UNESCO (2022) afirma que as TIC possuem um papel cada vez mais importante na sociedade, e complementa ao indicar que coopera com ações de disseminação de TIC nas escolas do Brasil, de forma que a utilização de tecnologias contribua com o ensino.

Turban, Ranier Jr. e Potter (2007) descrevem que as TIC se associam aos Sistemas de Informação (SI), Laudon e Laudon (2010) corroboram ao descrever que as TIC auxiliam no desenvolvimento de SI, idealizados a partir de processos de negócios que contemplam as regras funcionais de uma organização, desta forma os SI, "abrange todas as áreas funcionais, executam processos de negócios que permeiam toda a empresa e incluem todos os níveis de gerência". (LAUDON; LAUDON, 2010, p.48).

À vista disso, pode ser interessante a utilização de um SI com o objetivo de auxiliar a gestão de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Esse tema será detalhado a seguir.

2.3.2 Sistemas de Informação

Visando a melhora na gestão dos recursos hídricos Jannuzzi, Falsarella e Sugahara (2014) descrevem que a informação pode ser um insumo de grande importância para as organizações, entretanto, é desejável que esse dado seja tratado através de SI. Com isso é importante entender os SI informatizados, pois eles passam a ser cada dia mais imprescindíveis no âmbito da gestão. Um SI baseado em computadores pode ser considerado um conjunto de elementos compostos por um software, hardware, bancos de dados, pessoas e procedimentos configurados para coletar, manipular, armazenar e analisar dados em informações (Reynolds e Stair, 2020).

As organizações responsáveis pela gestão devem possuir metas oriundas de um planejamento. Com isso um SI deve ser capaz de auxiliar as organizações e seus gestores para alcançar essas metas, porém, o SI deve ser administrado para que isso seja possível de ser alcançado (MARKS; GRIEBELER, 2012). Para Benito e Licheski (2009) um SI é um conjunto de procedimentos que possui como objetivo disseminar informações entre pessoas e organizações.

O SI deve ser capaz de coletar e armazenar informações de dentro e de fora da organização, processar os dados e entregar de forma clara e organizada, assim, sendo útil para as organizações que os utilizam. Espera-se também, que seja útil para a tomada de decisão nas organizações (MARKS; GRIEBELER, 2012). Casarro (2010) destaca que um SI pode ser entendido como aquele que armazena e processa todos os dados de uma organização gerados nos processos definidos por ela, esse SI pode ser informatizado.

O'Brien (2001) complementa ao definir SI como:

É um grupo de componentes inter-relacionados que trabalham rumo a uma meta comum, recebendo insumos (que são dados e informações que entram) e produzindo resultados (que são informações que saem) em um processo organizado de transformação (que é o processamento dos dados e informações) (O'BRIEN, 2001, p.7)

Marks e Griebeler (2012) descrevem que um SI pode ser composto pelas seguintes etapas:

- ✓ Entrada: captação dos dados e das informações;
- ✓ Processamento: transformação dos dados e as informações;
- ✓ Saída: transferência do produto do processamento aos usuários.

E complementa ao dizer que pode conter os seguintes elementos:

- ✓ Hardware, a parte física que realiza as atividades de entrada, processamento e saída;
- ✓ Software, que são programas de computador e de usuários;
- ✓ Banco de dados, responsável por armazenar um conjunto de informações e dados de forma organizada.

Rezende (2008) descreve a importância de um SI para uma organização ao dizer que:

As organizações podem beneficiar-se com os sistemas de informação à medida que podem: controlar suas operações; diminuir a carga de trabalho das pessoas; reduzir custos e desperdícios; aperfeiçoar a eficiência, eficácia, efetividade, qualidade e produtividade da organização; aumentar a segurança das ações; diminuir os erros; contribuir para a produção de bens e serviços; prestar melhores serviços; agregar valores ao produto; suportar decisões profícuas; oportunizar negócios ou atividades e contribuir para a sua inteligência organizacional (REZENDE, 2008, p.15).

Em adição, para Marks e Griebeler (2012) um dos principais objetivos de um SI é de nos informar sobre um tema, e como isso pode interferir no meio ambiente e espera que sirva para desenvolver o conhecimento, através das informações de entrada de um problema.

No contexto da gestão de recursos hídricos, segundo a ANA (2021), como um instrumento de gestão de recursos hídricos foi criada o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que é um banco de dados que possui informações nacionais. A coordenação e implementação desse SI foi feita pela ANA em conjunto com os estados, através da coleta conjunta de dados, validação das informações, armazenamento e disponibilização de conteúdo. Os objetivos principais do SNIRH são:

- Descentralização na aquisição e análise de dados;
- Coordenação unificada;
- Ser gratuito e acessível a sociedade.

O SNIRH foi atualizado em 2020, e possui uma estrutura simples com oito abas que compilam distintas informações. A partir disso, pode ser realizada a leitura, navegação entre as abas e download de dados relacionados à água. Os dados são disponibilizados em distintas formas, como texto, tabelas, painéis de indicadores e mapas interativos. Em adição, são liberados metadados, dados abertos, aplicativos e portais de interesse (ANA, 2021).

Após esse exemplo Laudon e Laudon (2010) indicam que uma categoria de SI existente é a de sistemas para diferentes níveis de gerência. Nesta categoria os autores destacam os seguintes SI:

- ✓ Sistemas de Processamento de Transações (SPT): podem ser caracterizados como um sistema que realiza e registra transações que são essenciais para o funcionamento da organização;
- ✓ Sistemas de Informação Gerenciais (SIG): São responsáveis por atender gerentes de nível médio, dentre as suas funções, uma das principais é fornecer relatórios sobre o desempenho da organização;
- ✓ Sistemas de Apoio à Decisão (SAD): São responsáveis por auxiliar os gestores na tomada de decisão, utilizando como base modelos para analisar os dados e informações;
- ✓ Sistema de Apoio Executivo (SAE): São utilizados para atualizar e adicionar eventos externos, como exemplo novas leis tributárias. Em adição também possuem informações de um SAD e de um SIG utilizado na organização.

Dentre os SI, o SAD parece ser interessante no contexto de gestão de recursos hídricos, tendo em vista que uma das suas principais características é apoiar os gestores, fornecendo informações e subsídios para que eles tomem as melhores escolhas e decisões nas organizações que gerenciam os recursos hídricos. Uma descrição detalhada desse tipo de SI será feita a seguir.

2.3.3 Sistemas de Apoio à Decisão

As decisões podem ser classificadas como um julgamento de valor feito por uma pessoa em um determinado contexto. É comum que as pessoas considerem decisões valendo-se de heurísticas, que são princípios simples de uma realidade de difícil compreensão (LIBBY; BLOOMFIELD; NELSON, 2002).

Uma boa tomada de decisão pode ser determinante para o sucesso de uma organização, e os resultados obtidos podem auxiliar na solução de um problema. Para Silva et al. (2013) a tomada de decisão está presente em todas as áreas do conhecimento. Mesmo sendo uma difícil tarefa, é interessante que sempre se tome a melhor decisão diante de um problema. Para isso os SAD auxiliam as pessoas a tomarem a melhor decisão para solucionar o problema que estão enfrentando. Segundo Chaves et al. (2020), o SAD é interessante pois pode proporcionar os seguintes itens para a pessoa que vai tomar a decisão:

- ✓ Identificar os aspectos do contexto que afetam seu valor, com a finalidade de aperfeiçoar o que for necessário;
- ✓ Entender como cada um desses aspectos possuem participação na avaliação global;
- ✓ Realizar uma avaliação e monitorar o alcance dos objetivos através da alimentação dos dados.

Com isso, segundo Silva et al. (2013) , o SAD utiliza como base para análise dados, que podem ser coletados através de outros SI ou sensores, e disponibiliza o conhecimento para os gestores das organizações responsáveis pela tomada de decisão. Além disso, uma outra forma de coleta de dados de acordo com o SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA (2021) é através da ciência cidadã, que pode ser definida como a parceria entre cidadãos e cientistas na coleta de dados. Assim os cidadãos podem colaborar ao submeter informações que podem auxiliar a tomada de decisão, podendo ser através de celulares ou aplicativos. Com isso, a ciência cidadã destaca-se por ser uma forma eficiente de gerar dados com pouco investimento.

Os SAD demonstram-se consolidados e fundamentam direções e ações que devem ser tomadas por gestores para a melhor tomada de decisão de um problema. De acordo com Galioto et al. (2020) com um alto volume de informações, são reduzidas as incertezas, assim facilitando a melhor tomada de decisão. Além disso, podem ser relevantes para auxiliar a solucionar problemas de alta complexidade (GOMES et al., 2008). Com o SAD, muitas tarefas de planejamento e gestão tornam-se automatizada, desta forma, é possível auxiliar na melhor tomada de decisão para as organizações. Sendo assim, o SAD torna-se uma fonte de conhecimento (PRASAD; RATNA, 2018). Rodrigues (2019) complementa ao indicar que um SAD busca as melhores soluções de um problema.

Segundo Bortolin Jr. (2011) um SAD pode:

- ✓ Possuir uma etapa de obtenção de dados para análise provenientes de diferentes fontes;
- ✓ Ter a capacidade de buscar dados de fontes externas;
- ✓ Ter capacidade para manipulação de um alto volume de dados e informações;
- ✓ Possuir um sistema de gerenciamento de banco de dados que suporte análise com um alto volume de dados;
- ✓ Possuir a possibilidade auxiliar a criação de relatórios gerenciais;
- ✓ Ser capaz de disponibilizar resultados em diferentes formatos.

Bortolin Jr. (2011) complementa ao dizer:

É importante que um SAD retrate a cultura de uma organização, tornando-se parte dela, de forma que não atenda às necessidades apenas de única pessoa, razão essa a qual empresas estão adotando cada vez mais essa tecnologia (BORTOLIN JR, 2011, p.7).

Alves e Falsarella (2009) indicam que o ciclo da inteligência organizacional e competitiva pode ser útil na proposição de um SAD. Este ciclo é composto por quatro fases: planejamento, coleta de dados e informações, análise e disseminação da informação. A fase de Planejamento é responsável por determinar que dados são importantes que podem servir como base para análise e onde eles se encontram. Para a

Coleta é necessário saber como os dados serão coletados, se são informações internas ou externas, estruturadas ou não estruturadas, se a coleta vai ser automatizada ou manual, entre outras formas. Na fase de Análise os dados devem ser processados com o propósito de identificar padrões e extrair valor. Para a disseminação é interessante atentar à forma em que o conhecimento gerado vai ser entregue para os usuários.

Uma vez definido na fase de planejamento que dados precisam ser coletados e onde eles se encontram, pensando no espaço de uma bacia hidrográfica muitas informações podem não estar ainda sistematizadas e necessitam de sistemas inteligentes de coleta, que podem se servir do conceito de IoT, descrito a seguir.

2.3.4 Internet of Things

Segundo Haseeb et al. (2019) *Internet of Things* (IoT) é uma tecnologia emergente que utiliza como base a internet e tem como objetivo a conectividade entre dispositivos. Quando uma aplicação de IoT é planejada a primeira ação que deve ser feita é a escolha de componentes que serão utilizados, como exemplo, sensores para capturar os dados, protocolo de comunicação para transferência de dados e a base de dados para armazenamento.

À vista disso, de acordo com Abdulazeez, Zeebaree e Sadeeq (2018), a arquitetura que compõe um sistema de IoT é composta por duas principais camadas, a camada física e a camada de rede. A camada física é composta pelos sensores que coletam a informação, a camada de rede é composta por tecnologias que são responsáveis por transmitir os dados.

O IoT pode ser útil para coletar dados de outros SI existentes, assim, através de uma rede de conexão, dados de outros SI podem ser capturados em tempo real. Para Meddeb (2016) IoT utiliza de uma variedade grande de tecnologias com diferentes padrões com o objetivo principal de conectar diferentes dispositivos por uma rede. Para Tamilselvan e Thangaraj (2020) IoT emprega sensores e tecnologias de comunicação que são capazes de capturar e propagar dados em tempo real, assim, possibilitando tomadas de decisões mais rápidas.

Um exemplo de utilização de IoT no contexto hídrico foi o SI criado para verificação de pH da água da chuva utilizando IoT. Para este projeto foram construídos dois tanques com água, na parte superior de cada tanque foi colocado um sensor de detecção de chuva, e na parte interna um medidor de pH. A partir disso inseriram manualmente água nos tanques, em um dos tanques foi colocada água filtrada e em outro água com limão. Desta forma, o sensor de detecção de água ativo quando identificou a entrada de água e disparou um comando para que o medidor de pH verificasse a acidez da água nos tanques. Após coletar os valores do medidor de pH, essa informação foi enviada para uma base de dados. Neste exemplo de SI, o IoT foi responsável por verificar a entrada de água no sistema de tanques, medição de pH de cada recipiente e transmitir os valores capturados para uma base de dados (RANJAN et al., 2020).

Nos SI que utilizam IoT, os sensores podem ser utilizados para detectar dados, que coletados, são enviados para uma base de dados para análise e processamento por aplicações que utilizam conceitos de Big Data, gerando novos conhecimentos que podem auxiliar o processo de tomada de decisão. Assim, esse princípio é base para descrever como tecnologias como IoT e Big Data podem fazer parte de um SAD.

2.3.5 Big Data

Para Han et al. (2012), Big Data pode ser considerado como um conjunto de dados que não foram objeto de análise por parte das empresas por não existirem tecnologias capazes de coletá-los e analisá-los. Além disso, complementa ao dizer que Big Data: “... inclui não somente coleta e análise de informações, mas também a sequência de tomada de decisão.” (HAN et al., 2012, p. 810).

Kaisler, Armour e Espinosa (2013) descrevem que Big Data pode ser caracterizado por três “Vs”: Volume, está relacionado ao volume de informações existentes; Velocidade, está relacionado à velocidade com que há o aumento e modificação de dados e informações; e Variedade, está associado à existência de informações não estruturadas e estruturadas. Em adição, Beulke (2011) apresenta outros dois “Vs”, um deles é a Veracidade, este representa à necessidade de extrair informações e dados que sejam confiáveis, e o outro é o Valor que representa à geração de *insights* quando realizado a análise das informações.

Machado (2018) detalha os 5Vs apresentados sendo: o Volume está relacionado diretamente com a quantidade de informações e as fontes de dados existentes. As fontes de dados podem ser sensores que capturam e transmitem esse dado, como exemplo IoT, ou até mesmo informações provenientes de redes sociais. A velocidade está associada à rapidez em que se criam e transmitem os dados, assim torna-se possível a análise da informação em tempo real ou quase real. A Variedade está ligada aos diversos formatos, ou seja, os dados podem ser estruturados quando possuem um padrão definido, como exemplo um banco de dados relacional, ou dados não estruturados que podem ser vídeos, áudios, cotações de bolsa, entre outros. A Veracidade está diretamente associada a necessidade de garantir que o dado que foi capturado seja autêntico e que representem valores verdadeiros. O Valor é gerar *insights* e garantir que a informação seja útil para o fim desejado.

Machado (2018) complementa ao descrever que o termo Big Data pode ser utilizado para caracterizar o processamento em alta velocidade de grandes volumes de dados, cujo objetivo é gerar informações que direcionam a tomada de decisão.

Para Neto (2021) o termo Big Data foi despontado com o intuito de caracterizar aplicações computacionais que trabalham com um volume alto de dados e que possuem formatos diferentes. Desta forma, os dados podem ser agrupados, tratados, convertidos e analisados utilizando como base, técnicas computacionais e estatísticas, desta forma, gerando valor ao negócio. Segundo Machado (2018) dentre as técnicas, uma possível seria a análise histórica dos dados, onde a partir de valores já conhecidos, valores históricos, pode ser identificado padrões de valores no decorrer do tempo. Além disso, após a análise histórica pode ser feita uma projeção futura, ou seja, pode ser estimado um valor futuro para o resultado de um dado baseado nos padrões identificados da análise histórica.

Tendo em vista o aumento no número de dados que são gerados diariamente, as técnicas de Big Data trazem uma quebra de paradigma na forma de processar o dado, novas arquiteturas de sistemas são criadas com o objetivo de extrair conhecimentos a partir da variedade de dados existentes. A principal finalidade é analisar os dados, e a

partir disso, transformá-los em informações que serão fontes da tomada de decisão. (MACHADO, 2018).

Após a análise dos dados, Neto (2021) indica que é interessante que exista uma forma de visualizar o resultado obtido, assim, podem ser utilizadas ferramentas de consultas, criação de relatórios que transmitem os resultados e até *Dashboards*, que são painéis digitais que apresentam o resultado da análise.

No contexto de Big Data existem alguns desafios a serem enfrentados, como exemplo, a sincronização das fontes de dados, que é garantir que dados de fontes distintas sejam armazenados na mesma base para análise. Além disso, existe a necessidade de armazenar os dados com qualidade, tendo em vista a velocidade de crescimento da quantidade de informações que são produzidas (SYNNEX WESTCON-COMSTOR, 2021).

À vista disso, Shaw (2017) complementa ao dizer que com Big Data é possível analisar e transformar os dados em conhecimento, assim podendo ser utilizado para auxiliar a tomada de decisão. Com uma estrutura de dados bem definida, as análises podem auxiliar as organizações responsáveis pela tomada de decisão no contexto da gestão dos recursos hídricos.

Como exemplo de utilização de Big Data, Machado (2018) descreve que a empresa de carros, Ford, utiliza Big Data para análise de suas vendas. A partir da seleção de um grande volume de dados, que estão relacionados aos veículos construídos e já vendidos, opções dentro do seu site que os consumidores mais utilizam e reclamações feitas em seus canais oficiais, entre outros. Desta forma é possível fazer uma análise com o objetivo de alavancar as vendas de carros.

Após a descrição das características de SAD e dos conceitos de IoT e Big Data, o Quadro 4 apresenta uma síntese das características e dos principais elementos que podem fazer parte de um SAD.

Quadro 4 - Características e elementos de um SAD

Características e elementos	Fonte
------------------------------------	--------------

O SAD utiliza como base para análise dados, que podem ser coletados através de outros SI ou sensores, e disponibiliza o conhecimento para os gestores das organizações responsáveis pela tomada de decisão. Os SAD demonstram-se consolidados e fundamentam direções e ações que devem ser tomadas por gestores para a melhor tomada de decisão de um problema. A partir com um alto volume de informações, são reduzidas as incertezas, assim facilitando a melhor tomada de decisão.	Silva et al. (2013) e Galioto et al. (2020)
Planejar os dados que se deseja coletar, coletá-los onde estiverem disponíveis, analisá-los e disseminar as informações analisadas	Alves e Falsarella (2009)
Possuir informações como insumo de análise.	Marks e Griebeler (2012)
Ser capaz de coletar e armazenar informações de dentro e de fora da organização.	Marks e Griebeler (2012) Bortolin Jr. (2011)
Identificar os aspectos do contexto que afetam seu valor, com a finalidade de aperfeiçoar o que for necessário.	Chaves et al. (2020)
Possuir uma técnica de obtenção de dados para análise coletados através de outros SI ou sensores instalados na região da bacia hidrográfica.	Bortolin Jr. (2011) Silva et al. (2013)
Uma rede de IoT que emprega sensores e tecnologias de comunicação que são capazes de capturar e propagar dados em tempo real.	Tamilselvan e Thangaraj (2020)
Utilizar Big Data para o processamento em alta velocidade de grandes volumes de dados	Machado (2018) Bortolin Jr. (2011)
Utilizar a análise histórica e projeção futura de dados com big data	Machado (2018)

Visualizar o resultado obtido através da criação de relatórios que transmitem os resultados e até <i>Dashboards</i>	Neto (2021)
Utilizar a ciência cidadã como forma manual de coleta de dados e informações que podem auxiliar a tomada de decisão.	SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA (2021)

Fonte: autor do trabalho.

Esta síntese criada com os conceitos da literatura no Quadro 4 tem como finalidade auxiliar a proposta de um modelo conceitual de SAD para a gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento da Pesquisa

Em relação à abordagem metodológica, esta pesquisa caracterizou-se como exploratória, tendo em vista que “o tema escolhido ainda é pouco explorado” (GIL, 2002, p.43), trata-se de um assunto atual e conforme detalha Gil (2002), a finalidade da pesquisa exploratória é o aprimoramento de ideias e se caracteriza pela flexibilidade em seu planejamento.

A natureza dessa pesquisa é qualitativa, pois de acordo com Silveira e Cordova (2009) não existe a necessidade de representatividade numérica, pelo contrário, o objetivo é um aprofundamento da compreensão acerca do problema e proposta de um modelo conceitual de Sistema de Apoio à Decisão para Gestão de Recursos Hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.

3.2 Protocolo para coleta de dados

Para a coleta de dados e informações foi realizado uma pesquisa bibliográfica utilizando como base livros, documentos e publicações científicas. As buscas foram feitas nos seguintes portais: Google acadêmico, Periódicos da CAPES, Scielo, *ScienceDirect* e *Web of Science*.

A coleta de dados do referencial teórico foi distribuída de acordo com os 3 grandes temas discutidos:

- ✓ Bacias Hidrográficas;
- ✓ Gestão de Recursos Hídricos;
- ✓ Tecnologias de Informação e Comunicação.

Para o tema de bacias hidrográficas foram pesquisados os principais conceitos e definições, o ciclo hidrológico natural e a disponibilidade hídrica. O Quadro 5 busca representar a combinação de palavras utilizadas para as buscas de estudos para cada tópico deste tema.

Quadro 5 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados a Bacia Hidrográfica

Tópicos	Combinação de palavras
Conceitos e definições	“Bacias hidrográficas”, “Definição de bacias hidrográficas”, “Gestão de Bacias Hidrográficas”
Ciclo hidrológico	“Ciclo hidrológico”, “Ciclo da água”
Disponibilidade hídrica	“Disponibilidade de água”

Fonte: autor do trabalho

Para o tema “Gestão de Recursos Hídricos”, procurou-se elencar, os principais conceitos e os principais desafios existentes para a gestão de recursos hídricos, a questão da segurança hídrica, o ciclo de vida da água e os indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos. O Quadro 6 busca representar a combinação de palavras utilizadas para as buscas de estudos para cada tópico deste tema.

Quadro 6 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados a Gestão de Recursos Hídricos

Tópicos	Combinação de palavras
Conceitos e definições	“Gestão de recursos hídricos”, “Gestão da água”
Segurança Hídrica	“Segurança hídrica”, “escassez de água”
Ciclo de vida da água	“Ciclo de vida da água”, “Etapas de gestão hídrica”
Indicadores para a gestão de recursos hídricos	“Indicador”, “Indicadores de gestão de recursos hídricos”

Fonte: autor do trabalho

No tema Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) a busca do referencial teórico iniciou com a descrição dos conceitos e definições. Após isso, buscou-se aprofundar no tópico de Sistemas de Informações. Com isso, foi feita uma busca na literatura sobre os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), e, a partir disso, buscou-se definir e elencar os principais componentes de um SAD. Em adição, foi feita uma busca sobre os principais conceitos de Biga Data e IoT. O Quadro 7 busca representar a combinação de palavras utilizadas para as buscas de estudos para cada tópico deste tema.

Quadro 7 - Combinação de palavras para busca de estudos relacionados à TIC

Tópicos	Combinação de palavras
Conceitos e definições	“TIC”, “Tecnologia da Informação e comunicação”, “TIC na gestão de recursos hídricos”.
Sistemas de Informação	“Sistemas de Informação”, “SI na gestão de recursos hídricos”, “Tipos de SI”
Sistemas de Apoio à Decisão	“SAD”, “SAD para gestão de recursos hídricos”
Internet of Things	“IoT”, “Rede de sensores”, “Transmissão de dados”

Big Data	“Big Data”, “Big Data na gestão de recursos hídricos”, “Análise de dados com Big Data”
----------	--

Fonte: autor do trabalho

A aplicação do método para proposição do modelo conceitual de um SAD para gestão de recursos hídricos será descrita posteriormente.

3.3 Desenvolvimento da pesquisa

No tema de Bacia Hidrográficas buscou-se trabalhar com os principais conceitos e definições, tendo em vista que a gestão de recursos hídricos ocorre no espaço de uma Bacia Hidrográfica. Desta forma, um assunto importante que foi pesquisado é a segurança hídrica, pois a gestão de recursos hídricos visa atingir a segurança hídrica. Com isso, um outro assunto importante que foi abordado nesse tema foi o ciclo hidrológico natural. Em adição, foi pesquisado também sobre a Disponibilidade Hídrica. Ao final do capítulo deste tema foi criada o Quadro 1 que busca sintetizar os principais conceitos e características de uma bacia hidrográfica que foram encontrados no referencial teórico.

Para o tema de Gestão de Recursos Hídricos buscou-se pesquisar sobre os conceitos e definições da gestão de recursos hídricos, dentre os assuntos, foi descrita a lei nacional de gestão de recursos hídricos, os seus principais objetivos e foram descritos os desafios existentes na gestão de recursos hídricos. No segundo tópico desse capítulo, foi pesquisado sobre a segurança hídrica e a sua importância. No próximo tópico, foi discutido sobre as etapas do ciclo de vida água e como cada uma possui a sua importância na gestão de recursos hídricos. Em seguida, foi pesquisado sobre as definições de indicadores e a importância de possuir esses dados para auxiliar na gestão de recursos hídricos. Ao final do tópico de indicadores, foi criado o Quadro 2, onde foi realizado um levantamento de indicadores encontrados na literatura que podem auxiliar em cada uma das etapas do ciclo de vida da água. Para finalizar este tema, foi elaborada o Quadro 3, que tem como objetivo sintetizar os desafios que existem na gestão de recursos hídricos encontrados no referencial teórico.

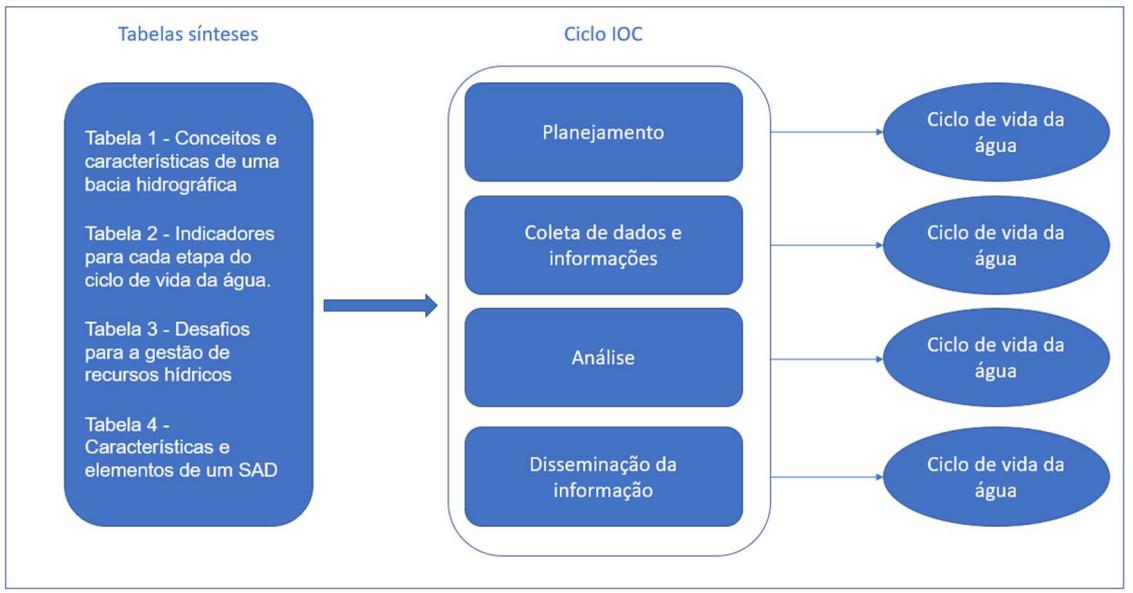
O último tema discutido no referencial teórico foi Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), onde foi discutido os principais conceitos e definições, além disso, o tópico de Sistemas de Informação (SI) foi trazido para discutir quais contribuições um SI pode agregar e foi observado os diversos tipos de SI existentes. Desta forma, foi discutido que o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) pode ser um SI útil para auxiliar na gestão de recursos hídricos. Logo, foi discutido a importância da utilização de tecnologias emergentes, como IoT e Big Data, que foram os outros tópicos desse tema. Ao final da discussão desse tema, foi criada o Quadro 4 que tem como objetivo sintetizar as principais características e elementos e elementos que podem fazer parte de um SAD.

No referencial teórico foram criados 4 principais quadros ao todo, esses quadros foram bases para a proposta de um modelo conceitual de SAD que possa auxiliar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Os Quadros criadas no referencial teórico são as seguintes:

- Quadro 1 - Conceitos e características de uma bacia hidrográfica;
- Quadro 2 - Indicadores para cada etapa do ciclo de vida da água;
- Quadro 3 - Desafios para a gestão de recursos hídricos;
- Quadro 4 - Características e elementos de um SAD.

Após a realização da pesquisa do referencial teórico e a criação dos Quadros 1, 2, 3 e 4, foi possível ter uma síntese dos principais conceitos necessários para a criação do modelo conceitual de SAD que auxilie a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. A Figura 4 busca ilustrar como foi aplicado o método utilizado para propor o SAD.

Figura 4 - Mapa visual para a proposta do SAD



Fonte: Autor do trabalho.

A proposta do SAD foi feita utilizando como base as quatro fases do ciclo de Inteligência Organizacional Competitiva (IOC), que são: planejamento, coleta de dados e informações, análise e disseminação da informação. Em cada uma das fases do ciclo de IOC foram consideradas todas as etapas do ciclo de vida da água que são: ciclo hidrológico natural, captação da água, retenção e armazenamento de água, tratamento da água, distribuição para o consumo da água e devolução da água para reuso. Desta forma foi possível descrever um modelo conceitual de SAD.

4 PROPOSTA DE UM MODELO CONCEITUAL DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Tendo em vista os desafios existentes em torno da gestão de recursos hídricos, o modelo conceitual de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que é apresentado nesse capítulo, foi construído a partir da revisão bibliográfica, especialmente da síntese dos conteúdos destacados nos Quadros de 1 a 4, os quais serão descritos detalhadamente nesta proposta, e visam minimizar os desafios, buscando contribuir com os gestores na tomada de decisão quanto a segurança hídrica dentro do espaço de uma bacia hidrográfica.

Tendo em vista que o objetivo desse trabalho é propor um modelo conceitual que represente um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que utilize Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) com o propósito de fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica. Considerando os Quadros que foram criados, Quadro 1 - Conceitos e características de uma bacia hidrográfica, Quadro 2 - Indicadores para cada etapa do ciclo de vida da água, Quadro 3 - Desafios para a gestão de recursos hídricos e Quadro 4 - Características e elementos de um SAD, entende-se que já se possui condições para fazer a proposta do modelo conceitual. Esse modelo pode ser utilizado por qualquer gestor de comitês de bacias hidrográficas ou qualquer entidade gestora de recursos hídricos que entenda que é importante nele se basear para auxiliar o processo decisório, desde que ele seja desenvolvido e implementado constituindo, portanto, um Sistema de Informação automatizado.

Desta forma, a Figura 5, procura, a partir do ciclo da inteligência organizacional e competitiva proposto por Falsarella e Jannuzzi (2020) representar as fases para um modelo conceitual de SAD. Este modelo é composto pelas seguintes fases: planejamento, coleta de dados e informações, análise e disseminação da informação. Essas fases estão baseadas no ciclo de vida da água, e podem ser denominadas de etapas que constituem o processo decisório da gestão de recursos hídricos.

Figura 5 - Modelo conceitual de SAD para Gestão de Recursos Hídricos



Fonte: Autor do trabalho.

O modelo conceitual de SAD ilustrado pela Figura 5 possui o objetivo de disponibilizar o conhecimento para os gestores responsáveis pela tomada de decisão. Além disso, como afirmam Silva et al (2013) e Galioto et al (2020), com um alto volume de dados que deve ser coletado e analisado, a tomada de decisão passa a ser mais assertiva. A seguir, cada uma das fases será devidamente detalhada.

4.1 Planejamento

A fase de planejamento é responsável por determinar quais dados são importantes e podem servir como base para análise, além disso, outro ponto importante é saber onde as informações estão disponíveis para que possam ser coletadas e posteriormente analisadas. Isso é necessário tendo em vista que essas informações podem gerar indicadores que uma vez calculados vão auxiliar o processo decisório.

Na fase de planejamento, o espaço a ser observado, fonte de coleta de informações, é a bacia hidrográfica, uma vez que segundo Porto e Porto (2008), é uma área onde se desenvolvem as atividades humanas, pode conter áreas de preservação, regiões urbanas, espaços industriais e agrícolas. Além disso, as bacias hidrográficas são utilizadas como unidade de planejamento e gerenciamento (Guerra e Cunha, 1996).

Para auxiliar o processo decisório a disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio a decisão sobre em recursos hídricos (BRASIL, 1997), e segundo Kramer (1988), a disponibilidade hídrica é calculada pela diferença da água que está sendo utilizada pela população para o desenvolvimento de suas atividades e a que se encontra disponível na bacia hidrográfica. Ou seja, é preciso saber se existe água disponível para atender as necessidades pela diferença da água existente e de consumo.

Portanto, a fase de planejamento que é feita por seres humanos, normalmente gestores de recursos hídricos, é fundamental no modelo conceitual proposto, existir uma base de dados que contemple todas os dados que devem ser coletados e onde eles se encontram, com a finalidade de gerar informações e valores necessários para a tomada de decisões pelos gestores, conforme afirma Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020), ou seja, gerar indicadores capazes de contribuir e orientar os gestores na tomada de decisão

(SANTOS, 2012), assim buscando saber como está a segurança hídrica na bacia hidrográfica.

Por se tratar de espaços muito grandes onde se concentram muitas cidades, atividades urbanas e rurais, é interessante possuir indicadores que retratem a situação atual em um determinado local de uma bacia hidrográfica. O Quadro 2 exemplificou alguns deles no contexto do ciclo de vida da água. A fase de planejamento busca identificar a melhor forma de coleta e análise de informações que fazem parte do longo do ciclo de vida da água, no espaço de uma bacia hidrográfica (SILVA, FALSARELLA E MARIOSA, 2022). Desta forma o planejamento deve levar em consideração dados que devem ser coletados das seguintes etapas do ciclo de vida da água:

- Entrada pelo ciclo hidrológico natural;
- Captação da água;
- Retenção e armazenamento de água;
- Tratamento da água; distribuição e consumo da água e;
- Devolução da água para reuso.

Procurando exemplificar, na etapa ciclo hidrológico natural, a chuva é uma forma de entrada de água nos rios, riachos e represas. Nesta etapa, um indicador que pode ser utilizado é o índice pluviométrico, que é responsável por medir o volume de água que precipitou por um determinado período em uma região da bacia hidrográfica. Desta forma, o local onde é possível coletar essa informação é no próprio espaço físico da bacia hidrográfica.

A etapa de captação de água do ciclo de vida água possui informações importantes para o processo de tomada de decisão, pois sabendo a quantidade de água que é demandada em uma determinada região, é possível ter o conhecimento da quantidade de água que deve ser captada para garantir o abastecimento. Dentre as formas de captação, pode haver a captação de águas subterrâneas, águas fluviais e água da chuva. Desta maneira as informações que podem ser úteis nessa etapa do ciclo de vida da água são:

- ✓ Volume que água fluvial que deve ser captado;

- ✓ Volume de água fluvial que foi captado;
- ✓ Volume de água da chuva que deve ser captado;
- ✓ Volume de água da chuva que foi captado;
- ✓ Volume de água subterrânea que deve ser captado;
- ✓ Volume de água subterrânea captado.

As informações relacionadas aos volumes que foram captados podem ser encontradas nos pontos de coleta de água no espaço físico da bacia hidrográfica. Por outro lado, os volumes que devem ser captados de água podem ser informações que já estão sistematizadas pelas empresas de distribuição de água ou até prefeituras tendo em vista que essas organizações são responsáveis por distribuir a água.

Na etapa de retenção e armazenamento de água exemplifica-se duas informações importantes. A primeira é o volume de água disponível nos rios, riachos e represas de uma bacia hidrográfica, essa informação pode ser coleta no próprio espaço físico da bacia hidrográfica. A segunda informação é o nível de água existente nos reservatórios, essa informação pode ser coleta nos reservatórios espalhados pelas cidades.

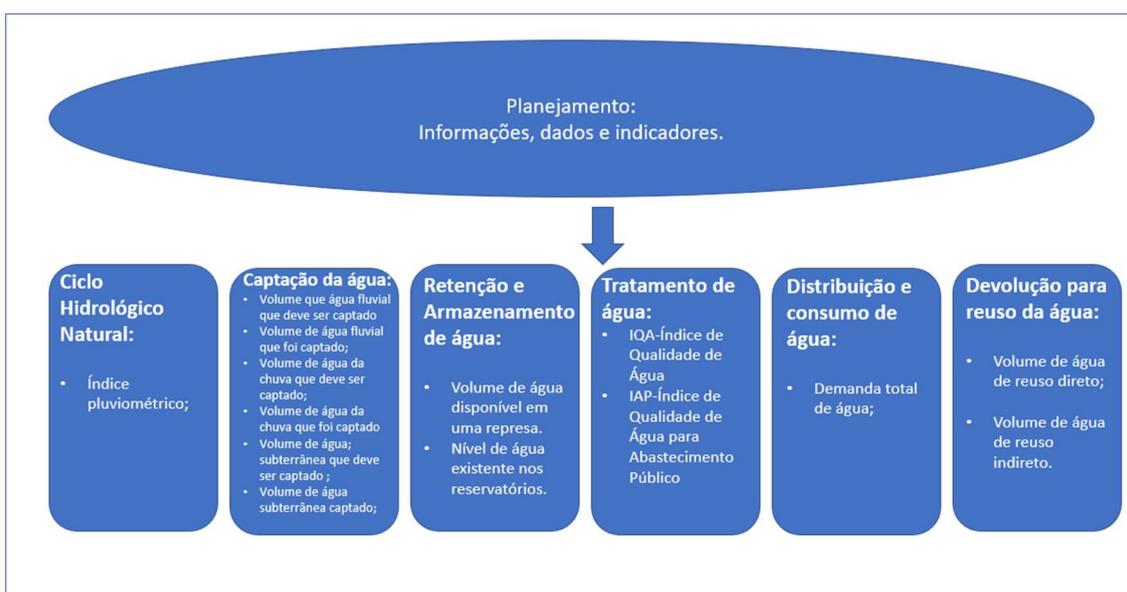
A etapa de tratamento da água é responsável por garantir a qualidade da água, para isso existem estações de tratamento que visam garantir a qualidade da água que futuramente será distribuída para consumo da população da bacia hidrográfica. Desta forma, existem indicadores que podem ser úteis, como por exemplo, o Índice de Qualidade de Água (IQA), que tem como objetivo medir a qualidade da água através das suas características físico-químicas. Um outro indicador que pode ser utilizado é o Índice de Qualidade de Água para Abastecimento Público (IAP), que indica a qualidade da água que chega à população. Além desses dois indicadores, a própria população que reside no espaço físico da bacia hidrográfica pode contribuir com informações relacionadas a qualidade da água, como exemplo, um ribeirinho que está desenvolvendo sua atividade agrícola e percebe alguma mudança drástica na colocação da água que recebe ou dos próprios cursos de água, rios e/ou riachos, ele pode enviar essa informação para que possa servir como base para análise.

Para a etapa de distribuição para o consumo, uma informação importante é a quantidade de água demandada para atender as necessidades de uma região dentro da bacia hidrográfica. Dessa forma, uma informação importante é a demanda total de água. Em adição, um dos objetivos da lei 9.433/1997 de gestão de recursos hídricos é garantir a água em qualidade e quantidade para todos. Assim, as informações relacionadas a demanda para consumo podem já estar sistematizadas, pois as prefeituras ou as empresas de distribuição de água já possuem a informação de demanda de cada uma das regiões, tendo em vista que essas organizações tarifam a quantidade de água consumida pelos consumidores.

Para etapa de devolução para reuso da água, dentre as duas formas de reuso, existe a de reuso direto e indireto. Desta forma, as informações que podem ser coletadas nessa etapa do ciclo de vida da água: são volume de água utilizada para o reuso direto e volume de água utilizada para reuso indireto. Ambas as informações de volume de água utilizada podem ser coletadas no espaço físico da bacia hidrográfica.

A partir das definições das principais informações e indicadores necessários em cada uma das etapas do ciclo de vida da água na fase de planejamento, a Figura 6 tem como objetivo ilustrar as informações e indicadores necessários em cada etapa.

Figura 6 – Informações, dados e indicadores da fase de planejamento do SAD



Fonte: Autor do trabalho.

Após a fase de planejamento é necessário coletar as informações identificadas como importantes pelos gestores de recursos hídricos. Desta forma, a próxima fase é a de coleta de dados e informações, que será descrita a seguir.

4.2 Coleta de dados e informações

A segunda fase do para o desenvolvimento do SAD é a de coleta de dados e informações, nessa fase é necessário identificar as possíveis maneiras de coletar os dados e informações que foram definidos na fase de planejamento, tendo vista, que é possível saber onde eles se encontram.

De acordo Tamilselvan e Thangaraj (2020), uma das possíveis forma para coleta dos dados e informação é com a utilização de uma rede de IoT que emprega sensores e Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) que são capazes de capturar e propagar dados em tempo real. Desta forma esses sensores podem ser instalados no espaço geográfico de uma bacia hidrográfica.

Além da possibilidade de coleta de dados utilizando IoT com uma rede de sensores, Bortolin Jr. (2011) e Silva et al. (2013) descrevem que uma outra forma de coletar os dados pode ser a partir de informações já existentes em outros Sistema de Informação (SI). Ou seja, o SAD deve ser capaz de coletar e armazenar informações de dentro e de fora da organização. Marks e Griebeler (2012) e Bortolin Jr. (2011), indicam que o SAD pode integrar com outros SI e coletar os indicadores, informações e dados que já estão sistematizados.

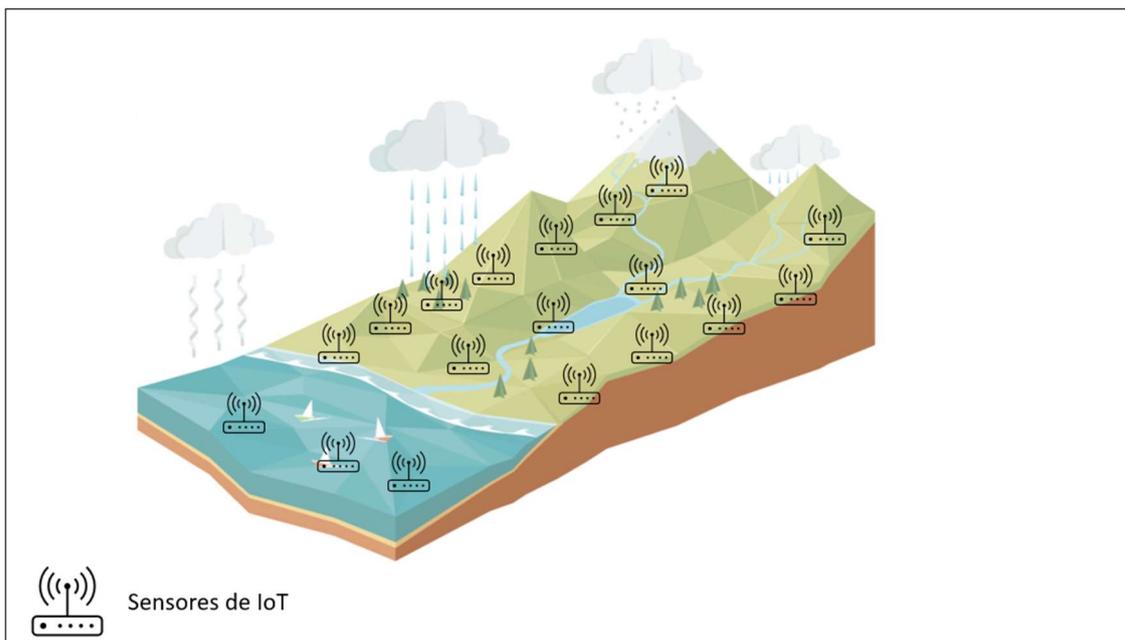
Em adição, as informações podem ser coletadas também de forma manual, através da ciência cidadã, o SAD deve ter a possibilidade de um usuário oferecer os dados necessários de entrada de forma manual. Assim, tanto gestores, que utilizarão o SAD para auxiliar na tomada de decisão, quanto a população que reside no espaço de uma bacia hidrográfica, podem fornecer informações e dados manualmente.

Tendo em vista as possíveis maneiras de coletas de informações dados e indicadores, nos próximos parágrafos serão exemplificados como cada informação indicada na fase de planejamento pode ser coletada.

Na etapa do ciclo hidrológico natural, o índice pluviométrico, é um dos indicadores importantes listado na fase de planejamento, este indicador busca quantificar o volume de chuva que caiu em uma região da bacia hidrográfica em um determinado período. Todavia, como o espaço de uma bacia hidrográfica é grande, podendo haver várias cidades, áreas rurais, entre outros, a chuva pode cair em um volume muito grande nas nascentes dos rios e ao longo dos mesmos cursos de água não ter caído uma gota sequer. Uma maneira possível para coleta do índice pluviométrico é através da utilização de IoT com a instalação de uma rede de sensores em diversos lugares de uma bacia hidrográfica. Desta forma é possível coletar essa informação e transmitir para uma base de dados em tempo real.

A Figura 7 apresenta uma ilustração de uma instalação de rede de IoT em bacia hidrográfica com o objetivo de coletar o índice pluviométrico.

Figura 7 - Representação de uma rede de sensores de IoT para coleta do índice pluviométrico



Fonte: Autor do trabalho.

Desta forma, fica claro a necessidade da coleta dessa informação em distintos pontos da bacia hidrográfica, pois a chuva pode ocorrer em todas as áreas da bacia hidrográfica, em parte dela ou em nenhum local.

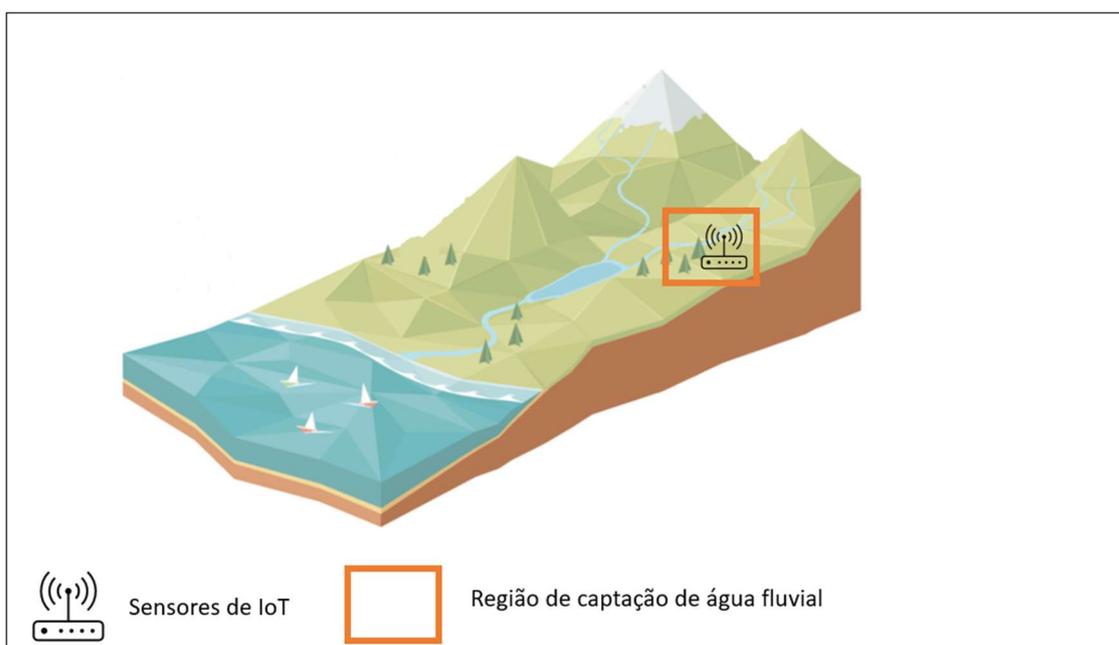
Na próxima da etapa do ciclo de vida da água, a captação da água, as informações importantes definidas na fase de planejamento, que são:

- ✓ Volume de água fluvial que deve ser captado;
- ✓ Volume de água fluvial que foi captado;
- ✓ Volume de água da chuva que deve ser captado;
- ✓ Volume de água da chuva que foi captado;
- ✓ Volume de água subterrânea que deve ser captado;
- ✓ Volume de água subterrânea captado.

As informações relacionadas aos volumes de água que devem ser captados podem já estar sistematizados, então essas informações podem ser coletas através da integração com outros sistemas que já possuam esse dado. Já para as informações relacionadas as quantidades de água que foram captadas, pode ser utilizada uma rede de sensores IoT instalada em pontos estratégicos de captação de água para que se possa fazer a medição do volume captado.

A Figura 8 ilustra como seria a instalação de um sensor para coletar a informação de volume de água captada em um determinado ponto da bacia hidrográfica. Nesta ilustração estão sendo obtidos dados de volume de água fluvial que estão sendo captados de um rio da bacia hidrográfica.

Figura 8 - Sensor de IoT para medir volume de água fluvial captada

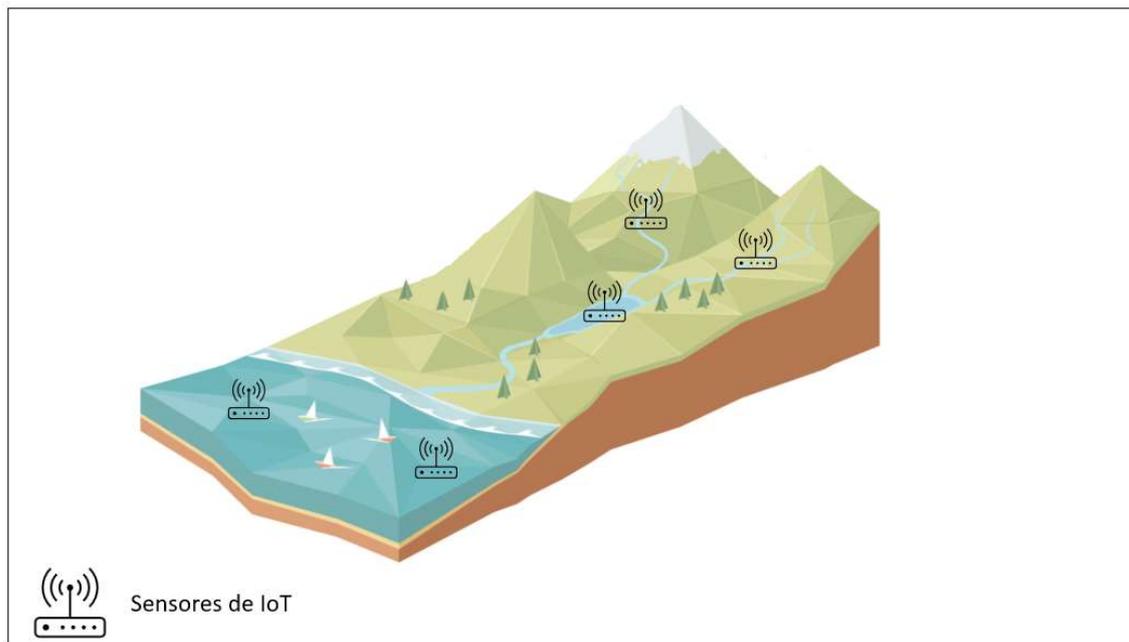


Fonte: Autor do trabalho.

Para a etapa de retenção e armazenamento as informações importantes estão relacionadas ao volume de água disponível nos rios, riachos, represas e nível de água existente nos reservatórios. Para coletar a informação de volume de água dos rios, riachos e represas, uma rede de sensores IoT pode ser instalada no espaço físico de uma bacia hidrográfica, desta forma, a informação de volume pode ser transmitida em tempo real. Em adição, uma rede de sensores IoT também pode ser útil para coleta de dados do nível dos reservatórios.

A Figura 9 busca exemplificar como uma rede de sensores instalados em uma bacia hidrográfica pode medir o volume de água de um rio.

Figura 9 - Representação de uma rede de sensores de IoT medição de volume de água de um rio



Fonte: Autor do trabalho.

Na Figura 9 é possível identificar que os sensores estão somente dentro dos rios, desta forma, é possível medir o volume de água de um rio em vários pontos de sua extensão.

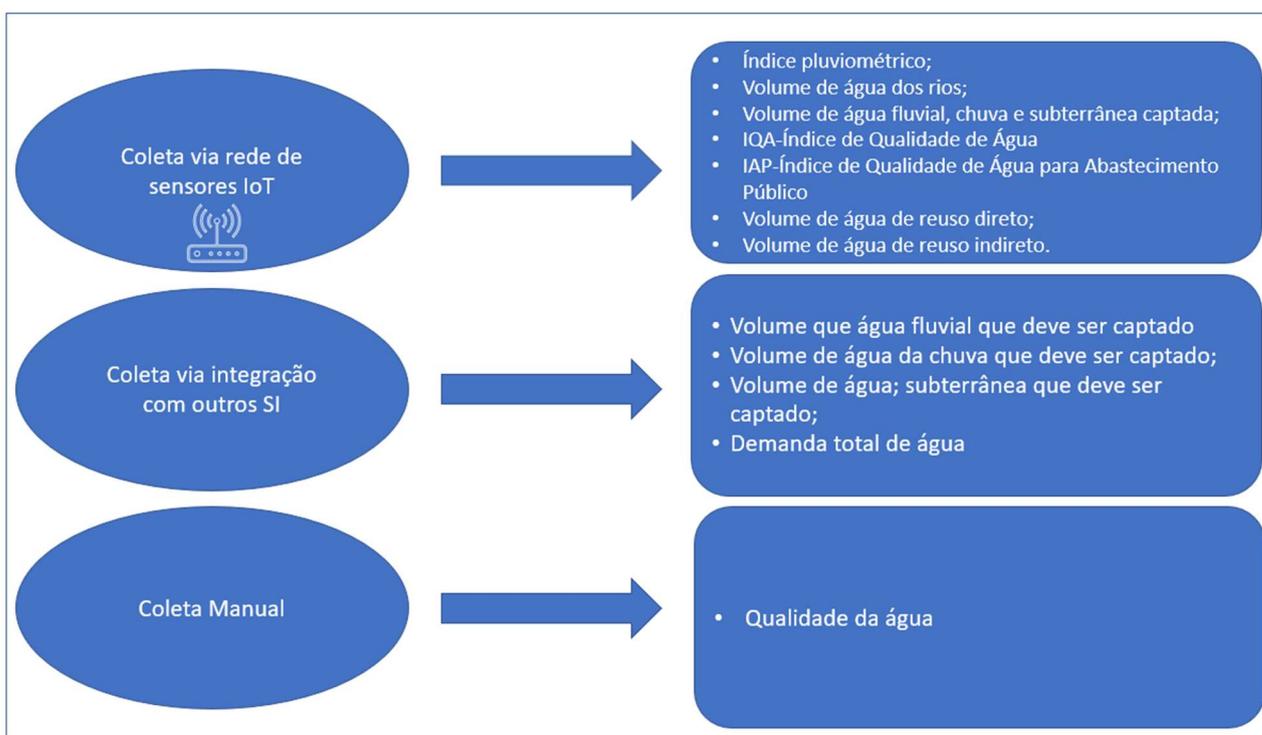
Na etapa de tratamento da água, uma das informações mais importantes é o índice de qualidade da água que será distribuída para o uso da população. Assim, sensores de IoT podem auxiliar na captura de informações relacionadas a qualidade da água, como por exemplo, podem ser utilizados para capturar e transmitir o nível de pH da água em uma determinada região. Além disso, informações relacionadas a qualidade da água podem ser entregues de forma manual ao SAD, como exemplo, uma pessoa que vive perto de uma represa pode informar manualmente caso perceba uma alteração na coloração da água ou caso perceba uma região em que houve mortes de peixes, pois isso pode indicar algo relacionado a qualidade da água.

Na etapa de distribuição e consumo de água, uma informação importante descrita na fase de planejamento do SAD é saber a demanda de água para cada uma das regiões contidas na bacia hidrográfica. Essa informação pode ser obtida de através da integração do SAD com os SI das empresas distribuidoras de água ou até prefeituras, pois essas organizações já devem possuir essa informação sistematizada.

Na etapa de devolução de reuso da água, as informações mais importantes são relacionadas ao volume de água que é utilizado para o reuso direto e o volume de água utilizada para o reuso indireto. Desta forma, pode ser interessante utilizar uma rede de IoT que pode capturar essa informação e transmitir em tempo real para a base de dados do SAD.

Com isso, a partir de todas as formas possíveis de coletar as informações necessárias para um SAD, a Figura 10 procura apresentar uma síntese de como as informações, dados e indicadores podem ser coletados.

Figura 10 - Principais formas de coleta de informação



Fonte: Autor do trabalho.

Após coletar as informações necessárias, a próxima fase é a de análise, nesta fase as informações coletadas servirão como base para que o SAD possa utilizar Big Data como forma de análise e assim fornecer subsídios para auxiliar a tomada de decisão. A fase de análise será detalhada a seguir.

4.3 Análise

Após a fase de coleta de dados e informações, a próxima fase do modelo conceitual de SAD é a de análise, nessa fase, a utilização de Big Data pode ser interessante, pois de acordo com Bortolin Jr. (2011) e Machado (2018) Big data pode ser utilizada para processamento de grandes volumes de dados. Segundo Machado (2018) o importante é analisar os dados, e posteriormente, transformá-los em informações que serão fontes e subsídios da tomada de decisão. Em complemento Beulke (2011) e Kaisler, Armour e Espinosa (2013) indicam que Big Data pode ser caracterizado por trabalhar com volume de dados, velocidade de alteração dos dados, variedade de dados, veracidade dos dados e com o valor que será gerado após as análises.

Ademais, a análise de dados utilizando Big Data é interessante tendo em vista que é possível que os dados sejam agrupados, tratados, convertidos e analisados utilizando como base, técnicas computacionais e estatísticas, desta forma, gerando valor. Dentre as técnicas existentes, Machado (2018) descreve que a de análise histórica de dados pode auxiliar na busca de entendimento de padrões baseado em valores históricos. Além disso, uma outra técnica que pode ser utilizado é a projeção futura de valores dos dados, onde o objetivo é projetar um resultado futuro de um dado ou indicador. Para exemplificar essa fase, será descrita como as informações coletadas podem ser analisadas no SAD.

Na etapa de ciclo hidrológico natural um indicador importante é o índice pluviométrico. Esse indicador como descrito anteriormente pode ser coletado utilizando uma rede de sensores IoT que transmitem o dado em tempo real. Desta forma é possível armazenar em uma base de dados os valores históricos desse indicador, ou seja, dados de anos, meses e dias anteriores. Assim, a análise de dados históricos utilizando Big Data possibilita o entendimento de padrões baseados em valores de períodos anteriores deste indicador.

Uma outra forma de análise possível é a projeção futura, essa técnica tem como objetivo projetar resultados futuros de um indicador a partir de dados históricos. Para exemplificar essa técnica, utilizando o mesmo indicador, índice pluviométrico, baseado nas análises históricas, pode ser feita uma projeção futura desse valor para uma

determinada região. Isso é possível pois com a análise histórica pode-se determinar padrões, e com esses padrões, determinar valores futuros do indicador.

A partir da coleta das informações na etapa de captação da água, a fase de análise pode ser útil para verificar se as quantidades que foram captadas são suficientes para atender a demanda de água de uma região, ou, se existe a necessidade de ser captada mais água para atender a demanda. Na etapa de retenção e armazenamento, uma informação importante listada na fase de planejamento é o nível de água existentes dentro dos reservatórios, desta forma, uma análise que pode ser feita é a questão da disponibilidade futura de água que se encontra em um reservatório. Além disso, pode ser analisado se o volume de água armazenado é suficiente para atender a demanda de água da região. Outra informação é o volume de água disponível em uma represa, a etapa de análise pode auxiliar a identificar se houve alguma alteração de volume no decorrer do ano, assim buscando identificar uma tendência nos resultados. Em outras palavras, é possível identificar se existe uma época específica do ano em que determinada represa apresenta um volume de água mais abaixo ou mais acima do normal em relação ao mesmo período do ano em relação a anos anteriores.

Na etapa de tratamento da água, um exemplo de informação que pode ser analisada é o pH da água. Assim, é possível identificar se existem valores que estejam fora da normalidade e em quais locais da bacia hidrográfica. Além disso, com a utilização de Big Data, podem ser identificados pontos de coleta em que a qualidade da água é maior para substituir a captação na região onde foi detectado um problema de qualidade da água. Ainda, pode ser realizada uma análise dos indicadores IQA e IAP, com o objetivo de identificar áreas onde os valores não estejam dentro do considerado ideal.

Para a distribuição e consumo de água é interessante analisar se a quantidade de água que é demandada para consumo de uma região está sendo entregue corretamente. Um exemplo de análise para esta etapa seria: supondo que uma nova indústria deseje se instalar no espaço de uma bacia hidrográfica, dessa forma, pode ser realizado uma análise para verificar a nova demanda exigida de água para aquela região. Além disso, Big Data pode auxiliar para analisar as novas quantias de água que devem ser distribuídas para atender essa nova empresa e os possíveis impactos no consumo da população que reside na área da bacia hidrográfica.

A análise na etapa de devolução da água para reuso pode ser feita através das informações mais importantes desta etapa, que são, quantidade de água utilizada para reuso direto e quantidade de água utilizado para reuso indireto. Desta forma pode ser feita uma análise histórica dessa informação, sendo que o objetivo é identificar padrões sobre o reuso direto e indireto de água e determinadas regiões da bacia hidrográfica e projetar tendências de crescimento.

Após a fase de análise, é necessário que a informação seja entregue ao gestor responsável pela tomada de decisão na bacia hidrográfica, desta forma, a próxima fase do modelo conceitual de SAD é a de disseminação da informação, esta será descrita a seguir.

4.4 Disseminação da informação

A última fase do modelo conceitual de SAD é a fase de disseminação da informação. Nesta fase deve ser delimitado as formas para entregar ao gestor os resultados das análises e informações geradas que servirão de subsídio para a tomada de decisão. Desta forma, Neto (2021) indica duas principais formas de disseminar as informações, a primeira é utilizando *Dashboards* e a segunda é através de disponibilização de relatórios gerenciais. Nas duas formas é possível ter as informações gerais dos indicadores que representam a bacia como um todo e fazendo apresentando as informações na forma de “*drill down*”, ou seja, de cada sub-bacia, de uma região, de uma cidade da bacia, de um baixo, entre outros.

Os *Dashboards*, que são painéis digitais, podem apresentar diversos tipos de gráficos. Assim, se tornam uma ótima opção para apresentação de resultados. Como exemplo, para o estudo de análises históricas, essa informação disponibilizada em forma de gráfico pode facilitar o entendimento. Por outro lado, os relatórios gerenciais também são ótimas opções, pois contêm os resultados das análises e podem ser disponibilizados aos gestores que são responsáveis pela tomada de decisão.

Para a etapa do ciclo hidrológico natural os resultados que podem ser entregues aos gestores são as análises realizadas sobre indicador de índice pluviométrico.

Como exemplo, podem ser entregues as análises históricas que mostrem os valores calculados desse índice em um determinado período e as projeções de futuras para os valores desse indicador. Para a etapa de captação de água os resultados relacionados aos volumes de água que devem ser captados comparado com os valores que foram captados podem ser disponibilizados em um relatório gerencial.

Para disponibilização dos resultados da análise sobre a etapa de retenção e armazenamento da água, podem ser criados dashboards que mostrem em tempo real o volume de água em cada um dos reservatórios. Além disso, os *Dashboards* também podem ser úteis para disseminar as informações relacionadas ao nível de água em uma represa, e as possíveis alterações que podem ocorrer de um ano.

Para a etapa de tratamento da água, podem ser disponibilizados em um relatório gerencial os valores das análises sobre indicadores de IQA e IAP. Em adição, pode ser útil a utilização de um *dashboard* que represente um mapa interativo da bacia hidrográfica, assim sendo possível identificar áreas em que um ribeirão possa indicar que exista um problema na qualidade da água. Na etapa de distribuição e consumo é interessante que seja entregue aos gestores os resultados das análises referentes as quantidades de água que são demandadas em uma região, desta forma é possível que o gestor saiba da quantidade de água que deve ser distribuída para atender o consumo de uma região, além disso, o SAD pode auxiliar na disseminação de informação através da disponibilização de relatórios gerenciais que demonstre cálculos de possíveis impactos caso uma nova indústria deseje instalar uma sede dentro do espaço da bacia hidrográfica.

As informações relacionadas ao reuso da água podem ser disponibilizadas pelos *dashboards*, demonstrando as informações de volume de água utilizada para reuso direto e a quantidade de água utilizada para reuso indireto em uma determinada área da bacia hidrográfica.

Com isso, a fase de disseminação da informação do SAD busca disponibilizar ao gestor informações e subsídios que possam servir como base para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

A água é um dos bens naturais que desponta quanto a incerteza de sua disponibilidade futura. Desta forma, a gestão sustentável desse recurso é necessária, tendo em vista que, a água pode ser utilizada para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Assim, um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que utilize tecnologias emergentes como Big Data e IoT é interessante para fornecer informações e subsídios que auxiliem os gestores na tomada de decisão na gestão de recursos hídricos.

Tendo isso em vista, o objetivo desse trabalho é de propor um modelo conceitual que represente um Sistema de Apoio à Decisão que utilize Tecnologias de Informação e Comunicação com o propósito de fornecer informações e subsídios para auxiliar o processo decisório na gestão de recursos hídricos dentro do espaço de uma bacia hidrográfica. O modelo conceitual de SAD foi descrito no Capítulo 4 e ilustrado conforme a Figura 5. Procurando seguir a metodologia de pesquisa foi utilizado na descrição do modelo os elementos existentes nas sínteses descritas nos Quadros 1, 3 e 4.

A proposta teve como base as fases do ciclo IOC, destacando que a etapa de Planejamento é realizada por seres humanos, gestores de recursos hídricos, o que sugere que qualquer sistema que seja implementado utilizando o modelo conceitual proposto vai ser diferente dos demais, uma vez que ele vai apresentar as informações e subsídios que cada gestor entende ser importante para o processo decisório.

Outro ponto de destaque é que, os SAD automatizados para a gestão de recursos hídricos dependem de muitas informações que estão dispersas no espaço territorial das bacias hidrográficas. Assim, para ter informações em tempo real elas precisam ser coletadas e, sem uso de TIC, é praticamente impossível. Nesse caso, a captura pode ser feita por meio de uma rede de sensores IoT.

Uma vez tendo os dados capturados, devido à alta quantidade, dificilmente seres humanos conseguirão fazer análise, nesse caso aplicações de Big Data são fundamentais para analisá-los, avaliá-los historicamente e fazer projeções futuras.

Além disso, como todos os estudos, também foi possível notar limitação, que talvez seja a dificuldade de instalar redes de sensores em todos os espaços de uma bacia hidrográfica, uma vez que nem sempre haverá sinal disponível para transmitir as informações em tempo real.

Dando continuidade ao trabalho apresentado, seria interessante a aplicação deste modelo conceitual em um caso real para que desta forma, seja possível validar se o que está sendo proposto de fato pode auxiliar o processo decisório. Com isso, como sugestão para estudos futuros e complementares, é interessante que o modelo conceitual de SAD que foi proposto possa ser desenvolvido e automatizado. Além disso, em um caso real é possível identificar melhorias visando o seu aperfeiçoamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULAZEEZ, A.; ZEEBAREE, S. R. M.; SADEEQ, M. Design and Implementation of Electronic Student Affairs System. **Academic Journal of Nawroz University**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 66–73, 2018. DOI: 10.25007/ajnu.v7n3a201.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Uso da água. 2020. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/uso-da-agua/>. Acesso em: 15 maio. 2022.

AL-RAHMI, W. M.; ALZHRANI, A. I.; YAHAYA, N.; ALALWAN, N.; KAMIN, Y. B. Digital Communication: Information and Communication Technology (ICT) Usage for Education Sustainability. **Sustainability**, [S. l.], v. 12, n. 12, p. 5052, 2020. DOI: 10.3390/su12125052.

ALVES, R. P.; FALSARELLA, O. M. Modelo conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 313-324, abr.-jun. 2009.

ANA. Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021. 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>. Acesso em: 15 maio. 2022.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. Tese Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

BARELLA, W.; SMITH, W.; PETRERE, M.; MONTAG, L. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. **Matas ciliares: conservação e recuperação**, [S. l.], p. 187–207, 2000.

BENITO, G. A. V.; LICHESKI, A. P. Sistemas de Informação apoiando a gestão do trabalho em saúde. **Revista Brasileira de Enfermagem**, [S. l.], v. 62, n. 3, p. 447–450, 2009. DOI: 10.1590/S0034-71672009000300018.

BEULKE, D. Big Data Impacts Data Management: The 5 Vs of Big Data. 2011. Disponível em: <https://davebeulke.com/big-data-impacts-data-management-the-five-vs-of-big-data/>. Acesso em: 15 maio. 2022.

BORSATO, F.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, [S. l.], v. 26, n. 2, 2004. DOI: 10.4025/actascihumansoc.v26i2.1391.

BORTOLIN JR, S. A. M. Sistemas de Apoio à Decisão. **INFOCAMP**, Recife, p. 1–11, 2011.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Da política nacional de recursos hídricos. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 16 maio. 2022.

BRASIL. Indicadores Ambientais. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais>. Acesso em: 16 maio. 2022.

CASARRO, A. C. **Sistemas de informações para tomada de decisões**. 4. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2010.

CHAFFIN, B. C. et al. Transformative Environmental Governance. **Annual Review of Environment and Resources**, [S. l.], v. 41, p. 399–423, 2016. DOI: 10.1146/annurev-environ-110615-085817.

CHAVES, L. C.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; BORTOLUZZI, S. C. Construção de Modelo para Apoiar o Processo de Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão. **Journal of Information Systems and Technology Management**, [S. l.], 2020. DOI: 10.4301/S1807-1775202017006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CLARKSON, P.; TOOMEY, R. **Information and Communication Technology and Whole School Reform**. 1. ed. Melbourne: Australian Catholic University, 2001.

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: Debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 94–102, 2012. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R. M. N. D.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, [S. l.], v. 59, p. 39–43, 2007.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Práticos e Conceituais**. 2001. Tese de Doutorado - IPH/UFRGS, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 13, p. 111–124, 2007.

DIVANI, D.; PATIL, P.; PUNJABI, S. K. Automated plant Watering system. Em: **2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATION OF POWER, ENERGY INFORMATION AND COMMUNICATION (ICCPEIC) 2016**, Anais [...]. : IEEE, 2016. p. 180–182. DOI: 10.1109/ICCPEIC.2016.7557245. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7557245/>.

ENGENHEIROS SEM FRONTEIRAS. Fique por dentro de como fazer um sistema de captação de água da chuva. 2019. Disponível em: <https://esf.org.br/captacao-de-agua-de-chuva/>. Acesso em: 15 maio. 2022.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. 1. ed. Turrialba: CATIE, 1996.

FERNANDES, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. Em: **II SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA 2006, Passo Fundo**. Anais do II Simpósio Nacional sobre o uso da água na agricultura, 2006. p. 1–17.

FERRAZ, I. C.; ROCHA, T. C. F.; GIACOMINI, I. B.; BEATO, C. E.; FRANCHI, N. Indicadores ambientais para gestão de recursos hídricos do estado de São Paulo. Em: **WORLD WATER CONGRESS 2007**, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: IWRA, 2007. p. 1–10.

GADOTTI, M. **Educar para sustentabilidade: uma contribuição à década da educação para o desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Editora e Livraria do Instituto Paulo Freire, 2008. Disponível em: <http://www.paulofreire.org>.

GALIOTO, F.; CHATZINIKOLAOU, P.; RAGGI, M.; VIAGGI, D. The value of information for the management of water resources in agriculture: Assessing the economic viability of new methods to schedule irrigation. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 227, p. 105848, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105848.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, C. F. S.; NUNES, K. R. A.; XAVIER, L. H.; CARDOSO, R.; VALLE, R. Multicriteria decision making applied to waste recycling in Brazil. **Omega**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 395–404, 2008. DOI: 10.1016/j.omega.2006.07.009.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. D. **Geomorfologia e meio ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUIMARAES, D. P.; REIS, R. J. D.; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais**. 1. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2010

HAMDAN, O. H. C.; LIBÂNIO, M.; COSTA, V. A. F. Avaliação de indicadores aplicados a sistemas de abastecimento de água de pequeno porte. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 6, p. 1183–1194, 2019. DOI: 10.1590/s1413-41522019185444.

HAN, X.; TIAN, L.; YOON, M.; LEE, M. A Big Data Model Supporting Information Recommendation in Social Networks. Em: **2012 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD AND GREEN COMPUTING 2012**, Anais [...]. : IEEE, 2012. p. 810–813. DOI: 10.1109/CGC.2012.125.

HASEEB, K.; ALMOGREN, A.; ISLAM, N.; UD DIN, I.; JAN, Z. An Energy-Efficient and Secure Routing Protocol for Intrusion Avoidance in IoT-Based WSN. **Energies**, [S. l.], v. 12, n. 21, p. 4174, 2019. DOI: 10.3390/en12214174.

JANNUZZI, C. A. S. C.; FALSARELLA, O. M.; SUGAHARA, C. R. Sistema de informação: um entendimento conceitual para a sua aplicação nas organizações empresariais. **Perspectivas em Ciência da Informação**, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 94–117, 2014. DOI: 10.1590/1981-5344/1927.

KAISLER, S.; ARMOUR, F.; ESPINOSA, A. Introduction to Big Data: Scalable Representation and Analytics for Data Science Minitrack. Em: **46TH HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES 2013**, Anais [...]. : IEEE, 2013. p. 984–984. DOI: 10.1109/HICSS.2013.292.

KOBIYAMA, M.. **Manejo de Bacias Hidrográficas - Conceitos básicos**. Em: Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. 1. ed. Curitiba: UFPR, 1999. p. 52–54.

KRAMER, K. The challenge of protecting instream flows in Texas: closing the barn door after the horse has left? **25 Water for Texas Conference: Water planning strategies for Senate Bill**, [S. l.], p. 1–2, 1998.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. Em: **Revista Escola de Minas**, [S. l.], v. 55, p. 121–126, 2001.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Sistemas de Informação Gerenciais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade. **Eng. sanit. ambient**, [S. l.], v. 10, p. 219–228, 2005.

LIBBY, R.; BLOOMFIELD, R.; NELSON, M. W. Experimental research in financial accounting. Accounting, **Organizations and Society**, [S. l.], v. 27, n. 8, p. 775–810, 2002. DOI: 10.1016/S0361-3682(01)00011-3.

LLOYD, M. Towards a definition of the integration of ICT in the classroom. Em: **Education Research Creative Dissent: Constructive**. Australia: Australian Association of Research in Education, 2006. p. 1–18.

- MACHADO, F. N. R. **Big Data: o futuro dos dados e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.
- MAGALHÃES JR, A. P. **Indicadores e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- MARKS, S. R.; GRIEBELER, M. P. D. **Sistemas de apoio à decisão**. 1. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2012.
- MARTINS, F. B. et al. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) (estudo de caso). **Cerne**, [S. l.], v. 11, p. 315–322, 2005.
- MEDDEB, A. Internet of things standards: who stands out from the crowd? **IEEE Communications Magazine**, [S. l.], v. 54, n. 7, p. 40–47, 2016. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7514162.
- MIRANDA, R. A. C. D.; OLIVEIRA, M. V. S. D.; SILVA, D. F. D. Ciclo Hidrológico Planetário: Abordagens e Conceitos. **Geo UERJ**, [S. l.], v. 21, p. 109–119, 2010. Disponível em: www.geouerj.uerj.br/ojs.
- MOREIRA, A. M.; MEIRELES, M. R. G. A importância da visualização de dados para o processo de tomada de decisão: um estudo sobre o desempenho de atletas de parataekwondo. **Pista: Periódico Interdisciplinar**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 217–234, 2022.
- MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. 2005. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MOSCA, A. A. D. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. Dissertação - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.
- MUNCK, L.; SOUZA, R. B. D. Responsabilidade social empresarial e sustentabilidade organizacional: a hierarquização de caminhos estratégicos para o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Estratégia**, Curitiba, [S. l.], v. 2, p. 185–202, 2009.
- NETO, J. A.R. **Big Data para Executivos e Profissionais de Mercado**. 2. ed. São Paulo, 2021.
- O'BRIEN, J. A.; MARAKAS, G. M. **Administração de Sistemas de Informação**. 15. ed. Porto Alegre: AMGH/McGraw-Hill/Bookman, 2013.
- O'BRIEN, J. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2001.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. UN Water - Water Facts. 2021. Disponível em: <https://www.unwater.org/water-facts/scarcity/>. Acesso em: 15 maio. 2022.

Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S. l.], v. 8, n. 4, 2012. DOI: 10.17271/19800827842012282.

SHAW, A. Understanding Big Data In The Water Industry. 2017. Disponível em: <https://www.wateronline.com/doc/understanding-big-data-in-the-water-industry-0002>. Acesso em: 15 maio. 2022.

SILVA, B. R.; MELO, M. C. D.; RIBEIRO, M. D. D. A.; BORGES, L. Sistemas de apoio a decisão médica (SADM). **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica**, [S. l.], v. 3, p. 1–11, 2013.

SILVA, M. L. R. D.; FALSARELLA, O. M.; MARIOSA, D. F. O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: a contribuição da internet das coisas (iot) e big data. **Risus**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 45-58, 15 jun. 2022.

SILVEIRA, D. T.; CORDOVA, F. D. P. **A pesquisa científica**. Em: Métodos de pesquisa. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SINGH, R. K.. Environmental Sustainability: A Digital Approach. **Impact Factor**, [S. l.], v. 8, n. 21, p. 1–7, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ranjan-Kumar-Singh/publication/356191672_Environmental_Sustainability_A_Digital_Approach/. Acesso em: 24 out. 2022.

SIRVINKAS, L. P. **Manual de direito ambiental**. 20. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA. **Ciência Cidadã**. Disponível em: <https://sibbr.gov.br/cienciacidade/oquee.html>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SYNNEX WESTCON-COMSTOR. 6 maiores desafios em big data enfrentado pelas empresas. 2021. Disponível em: <https://digital.br.synnex.com/6-maiores-desafios-em-big-data-enfrentado-pelas-empresas>. Acesso em: 15 maio. 2022.

REYNOLDS, G.; STAIR, R. **Principles of Information Systems**. 14. ed. Boston: Cengage, 2020.

TAMILSELVAN, K.; THANGARAJ, P. P. – A novel intelligent energy efficient and dynamic frequency scalings for multi-core embedded architectures in an IoT environment. **Microprocessors and Microsystems**, [S. l.], v. 72, p. 102907, 2020. DOI: 10.1016/j.micpro.2019.102907.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C.; CHAGAS, M. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 1–16, 2017. DOI: 10.21168/rega.v14e12.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **A Água**. [s.l.] : Editora Scienza, 2020. DOI: 10.26626/978-65-5668-005-7/B0001.

TURBAN, E.; RANIER JR., R. K.; POTTER, R. E. **Introdução a sistemas de Informação uma abordagem gerencial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

UNESCO. TIC na educação do Brasil. 2022. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/ict-education-brazil>. Acesso em: 15 maio. 2022.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. 1. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975.

ZAKIA, M. J. B.; LIMA, W. D. P. **Hidrologia de matas ciliares**. *Em*: Matas ciliares: conservação e recuperação. 1. ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. v. 1p. 33–44.

ZUPPO, C. M. Defining ICT in a Boundaryless World : The Development of a Working Hierarchy. **International Journal of Managing Information Technology**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 13–22, 2012. DOI: 10.5121/ijmit.2012.4302.