**Bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis: uma proposta a partir do estudo de conceitos e aplicações sobre cidades inteligentes**

**Emílio José Biasi**

Engenharia de Software

Escola Politécnica

emilio.jb@puccampinas.edu.br

**Orandi Mina Falsarella**

Informação para Gestão e Inovação

Escola de Economia e Negócios

orandi@puc-campinas.edu.br

**Resumo:** *Com as mudanças climáticas afetando a disponibilidade regular de água, novas possibilidades devem ser incorporadas à gestão dos recursos hídricos. Dado que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) são capazes de contribuir em outros contextos para melhorar a qualidade de vida das pessoas, este trabalho busca* *estudar os conceitos e aplicações de cidades inteligentes para saber como eles podem subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O estudo é de caráter exploratório e qualitativo e, baseado em dados bibliográficos coletados em revisão de literatura, descreve aplicações que podem tornar mais inteligente o processo de gestão da água nas bacias hidrográficas.*

**Palavras-chave:** *Gestão de recursos hídricos, Tecnologias da informação e comunicação, Bacias hidrográficas inteligentes.*

**Área do Conhecimento:** *6.00.00.00-7 Ciências Sociais Aplicadas; 6.02.00.00-6 Administração.*

1. **INTRODUÇÃO**

O crescimento econômico sustentável melhora a qualidade de vida ao investir em capital humano e social e infraestrutura moderna. Isso se alinha ao conceito de cidades inteligentes, que usam soluções inovadoras para serviços urbanos melhores [4]. Cidades inteligentes possuem sistemas integrados visando a melhoria dos serviços aos cidadãos [20]. Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) são fundamentais para lidar com a complexidade urbana [27], combinando capital humano, social e TIC para desenvolvimento sustentável e cidadania [31]. TIC coleta, processa e dissemina dados, melhorando a vida urbana. Aplicar conceitos de cidades inteligentes pode beneficiar convivência e qualidade de vida em cidades complexas. Água é essencial, mas sua gestão é desafiadora, especialmente em crises hídricas [12]. Segurança hídrica é garantir água em qualidade e quantidade, mas isso transcende limites da cidade, envolvendo bacias hidrográficas. Questiona-se se conceitos de cidades inteligentes podem auxiliar na gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas. O objetivo desse trabalho visa entender como conceitos de cidades inteligentes podem contribuir para gestão sustentável de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

1. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 
   1. **Cidades Inteligentes, Conceitos, Tecnologias e Aplicações**

Na década de 1990, o conceito de "cidades digitais" precedeu as "cidades inteligentes", enfocando a infraestrutura digital para estimular inovações nas esferas governamentais, empresariais e sociais, com inclusão e transparência em mente [19]. A base das cidades inteligentes é a infraestrutura tecnológica, envolvendo dispositivos eletrônicos para coleta, processamento e transmissão de dados [10]. Desafios cruciais incluem garantir segurança e privacidade, gerenciar grandes volumes de dados, adaptar-se ao crescimento populacional, integrar sistemas diversos e permitir interações eficazes [17]. Sensores integrados e monitoramento em tempo real permitem a interação do governo com a cidade e sua comunidade, usando dados para eliminar ineficiências urbanas [8]. Ao analisar os conceitos de cidades inteligentes aqui expostos, verifica-se algumas TICs que aparecem com mais frequência, as quais compõem a infraestrutura de suas aplicações. Entre todos os recursos avançados, os vocábulos Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), Big Data, Computação em Nuvem e Inteligência Artificial são indispensáveis.

* 1. **Internet of Things (IoT)**

A Internet das Coisas (IoT) é um termo que combina "Internet" como protocolo de comunicação e "Coisas" como objetos diversos, formando uma infraestrutura global de dispositivos conectados que trocam dados através de endereços IP [2]. É um ecossistema que conecta objetos físicos para trocar, armazenar e coletar dados, tornando-se relevante ao conectar objetos do cotidiano, permitindo a comunicação entre pessoas e objetos, bem como entre os próprios objetos [5]. Exemplos de aplicação de IoT em cidades inteligentes incluem monitoramento de tráfego, estacionamento, segurança, qualidade do ar e clima [18]. Combinando tecnologias de computação, protocolos de comunicação da internet, redes de sensores sem fio e tecnologias de sensoriamento, IoT torna o ambiente mais integrado e inteligente [14].

* 1. **Big Data**

Big Data é crucial em aplicações de cidades inteligentes. O termo está associado ao armazenamento e análise de dados [30]. Possui cinco dimensões: Volume (terabytes e petabytes disponíveis), Variedade (dados estruturados, semiestruturados e não-estruturados), Velocidade (geração e análise de dados), Veracidade (confiabilidade dos dados) e Valor (geração de insights a partir dos dados) [9]. O Big Data armazena e processa dados para melhorar serviços urbanos. É usado em energia, saúde, transporte e outras áreas [6]. Com o Big Data presente nas cidades torna-se possível o armazenamento e processamento eficiente de dados, gerando, assim, informações úteis com o potencial de aprimorar os diversos serviços que a cidade disponibiliza.

* 1. **Computação em Nuvem**

A complexidade na construção de infraestruturas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), que inclui instalação, configuração e atualização de software pelo usuário, impulsionou a adoção da computação em nuvem como uma solução tecnológica [25]. Define-se a computação em nuvem como um ambiente computacional que se baseia em uma rede de servidores, sejam virtuais ou físicos. Esse modelo representa uma abordagem inovadora, permitindo o acesso a serviços e aplicações de forma independente da localização do usuário, da plataforma de acesso e do local onde os dados serão armazenados [26]. A infraestrutura e as aplicações são centralizadas em data centers e compartilhadas como serviços através da internet [21]. A computação em nuvem emerge como uma resposta eficiente aos desafios da criação e manutenção de infraestruturas de TIC, permitindo uma abordagem flexível e descentralizada na oferta de serviços e aplicativos. Isso amplia a acessibilidade e a disponibilidade de recursos, independentemente da localização física, promovendo uma experiência mais integrada e conveniente para os usuários.

* 1. **Inteligência Artificial**

A Inteligência Artificial (IA) automatiza tarefas intelectuais e tem amplo potencial em várias áreas [22]. Quatro linhas de pensamento definem a IA: sistemas que pensam e atuam como humanos, sistemas que pensam racionalmente, sistemas que atuam como humanos e sistemas que atuam racionalmente [13]. Define-se a IA como a ciência e a engenharia de criar máquinas com funções cerebrais humanas [16]. Um exemplo é a aplicação e-Noé, que utiliza IA para monitorar rios urbanos com sensores sem fio, permitindo previsões de enchentes e otimização do transporte público [7]. Diversos conceitos de cidades inteligentes convergem em objetivos e fundamentos, buscando aplicar TIC de forma sustentável para melhorar a qualidade de vida, preservar o ambiente e impulsionar a economia. A Tabela 1 apresenta algumas aplicações de cidades inteligentes que podem ser adaptadas para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

**Tabela 1 - Aplicações de cidades inteligentes.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nome da aplicação** | **Descrição** | **Citação** |
| Risk Assessment and Horizon Scanning (RAHS) - Segurança Pública | Atua no âmbito do Centro Nacional de Coordenação de Segurança, que recolhe e analisa conjuntos de dados em grande escala, gerenciando proativamente ameaças, como ataques terroristas, doenças infecciosas e crises financeiras. Uma aplicação que capacita a realização de projeções e possíveis cenários. | [1] |
| Horizon Scanning Centre (HSC) - Recursos Naturais e Energia | Consiste em um projeto do Reino Unido que, através de análises aprofundadas sobre múltiplos canais de dados (Big Data), aborda sobre as mudanças climáticas e seu impacto na disponibilidade de alimentos e água, nas tensões regionais e na estabilidade e segurança nacional. | [1] |

Fonte: Elaboração própria (2023)

* 1. **Bacias Hidrográficas e Gestão dos Recursos Hídricos**

Estudos recentes sobre bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos têm crescido devido à relevância desses temas diante das mudanças climáticas e da possível escassez de água. A gestão eficaz das bacias hidrográficas é essencial para entender seu comportamento e garantir a disponibilidade sustentável de água. A bacia hidrográfica é a área onde a água da chuva é coletada e direcionada para um ponto de saída único, composta por vertentes e uma rede de cursos d'água [28]. A escassez de água e sua distribuição desigual globalmente destacam a importância de uma gestão rigorosa [29]. A gestão eficaz de recursos hídricos por meio de TIC pode fornecer dados sobre a disponibilidade de água e riscos. O conceito de segurança hídrica surgiu na década de 1990, ganhando destaque após a crise hídrica em São Paulo [15]. No Brasil, a Lei Federal Nº 9.433/1997 instituiu a política Nacional de Recursos Hídricos, com objetivos como a garantia de água de qualidade para as gerações atuais e futuras e o uso racional dos recursos hídricos [3]. A gestão hídrica eficaz é fundamental para fornecer melhores serviços à população e desenvolver atividades produtivas nas bacias hidrográficas. Diante do que foi discutido até o momento, esse trabalho propõem o conceito de Bacias Hidrográficas Inteligentes, similar às Cidades Inteligentes, como uma necessidade para a gestão dos recursos hídricos.

1. **METODOLOGIA**

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória devido à novidade do tema [11]. Esse tipo de pesquisa facilita a compreensão e divulgação do assunto [24] e é apropriado para investigar temas pouco explorados [23]. Dados qualitativos foram obtidos por pesquisa documental e bibliográfica, analisando conceitos e aplicações de cidades inteligentes, bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos. Essa abordagem é prescritiva, explorando formas de avaliar a integração de conceitos. A pesquisa define termos, tecnologias de informação, conceitos de bacias hidrográficas e gestão hídrica, destacando relação entre cidades inteligentes e gestão hídrica em bacias.

1. **BACIAS HIDROGRÁFICAS INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

Ao estudar detidamente o conceito de bacias hidrográficas, é perceptível que vários outros assuntos complexos a elas se relacionam, exigindo uma base sólida e multidisciplinar do conhecimento que envolve a gestão dos recursos hídricos. A água, insubstituível e essencial, torna a gestão hídrica fundamental para a sociedade, com impactos diretos na vida dos cidadãos quando bem executada.  
Assim como as TICs beneficiam cidades inteligentes, suas aplicações e adaptações são valiosas para coletar e analisar dados em bacias hidrográficas. Isso otimiza a gestão, planejamento e uso dos recursos hídricos, reforçando a segurança hídrica em regiões específicas. Tomando por base as aplicações que já foram descritas no contexto das cidades inteligentes, observa-se que, a partir delas e dos recursos de TIC por elas usadas, algumas podem influenciar diretamente nos mecanismos utilizados como suporte à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Com este propósito, a seguir são apresentadas algumas sugestões destas aplicações. O Serviço Inteligente de Coleta de Lixo em Barcelona utiliza sensores em lixeiras para notificar quando estão cheias, evitando a poluição dos recursos hídricos. Esses sensores, baseados em IoT, enviam alertas para o controle da coleta, prevenindo o arrastamento do lixo pela chuva para mananciais e esgoto. O Centro Integrado de Comando (CEIC) em Porto Alegre é um centro de monitoramento georreferenciado com câmeras interconectadas e sensores que auxiliam no monitoramento público. Sua capacidade tecnológica, embora focada em aspectos urbanos, poderia contribuir para a gestão hídrica ao coletar dados pluviométricos das chuvas. Isso poderia ser incorporado à formação de uma base de dados para melhorar a tomada de decisões nesse campo.  
O CEIC coleta dados pluviométricos, exemplificando o conceito de bacias hidrográficas inteligentes. Assim, expandindo esse conceito, seria interessante a criação de um Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC), cujo propósito seria o de receber informações coletadas dos espaços territoriais das bacias hidrográficas (aplicações de IoT) e processá-las, gerando subsídios para facilitar o processo de tomada de decisão da gestão dos recursos hídricos (aplicações de Big Data e Inteligência Artificial). O Horizon Scanning Centre (HSC) do Reino Unido analisa Big Data relacionado a mudanças climáticas e suas consequências, como a disponibilidade de recursos e segurança. Pode ser aplicado em bacias hidrográficas inteligentes para análise detalhada e monitoramento contínuo das mudanças climáticas, fornecendo informações essenciais para o planejamento hídrico. Integrar o HSC ao Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC) aprimoraria a gestão de recursos hídricos com dados sólidos e análises precisas. O Risk Assessment and Horizon Scanning (RAHS), programa que atua no âmbito do Centro Nacional de Coordenação de Segurança de Singapura, é um centro responsável por recolher e analisar dados em grande escala, gerenciando proativamente ameaças, como ataques terroristas, doenças infecciosas e crises financeiras [1]. Apesar de atuar na gerência de diversas crises diferentes, com a estrutura de análise e de gerenciamento de dados em grande escala oferecido pelo RAHS, é possível que essas funcionalidades sejam direcionadas para tratar de questões envolvendo recursos hídricos, contribuindo na parte de análise e auxiliando nas tomadas de decisão. Com o RAHS reforça-se a necessidade de criação do CIMRC. O NEdNet na Tailândia é um sistema integrado que abrange educação, infraestrutura de rede e serviços de aprendizagem. Ele suporta o entendimento para educadores, promove a aprendizagem personalizada e auxilia em decisões gerenciais na educação. Segundo os autores, também pode influenciar a dinâmica de aprendizagem e a capacidade de aprender dos indivíduos. Quando direcionado ao meio ambiente, o NEdNet pode ser um recurso valioso para a educação ambiental, abordando tópicos como desperdício de água, ciclo hidrológico e poluição hídrica. Essa abordagem poderia ser integrada ao CIMRC para orientar sobre a segurança hídrica em tempo real. O e-Noé é uma solução composta por sensores sem fio para monitorar rios urbanos. Dados capturados pelos sensores submersos possibilitam o registro das alterações no nível da água. Com Inteligência Artificial, previsões de enchentes podem ser feitas. Essa aplicação se relaciona com gestão hídrica e bacias hidrográficas inteligentes. Sensores em rios poderiam coletar dados para auxiliar decisões em cheias ou escassez, integrando-se ao CIMRC. Diante do volume de dados que o CIMRC pode receber e processar, o conceito de computação em nuvem pode ser aqui aposto, uma vez que todas as aplicações, dados e informações ficam reunidos em data centers e são acessados por meio da internet. Cada uma das aplicações e sistemas citados neste estudo possuem, obviamente, funções e funcionamentos distintos, ainda assim, todas tendem para o mesmo objetivo e se interconectam por este ponto. Portanto, entende-se que o CIMRC auxiliaria na conectividade de todos os serviços, facilitando toda a integração existente entre eles.

1. **CONCLUSÕES**

O estudo se propôs a explorar o uso de TICs para desenvolver o conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis. Baseando-se em conceitos e aplicações de cidades inteligentes, enfatizou-se a importância das TICs para a melhoria da qualidade de vida. A criação de um Centro Integrado de Monitoramento de Recursos Hídricos (CIMRC) foi proposta para centralizar informações relacionadas à segurança hídrica da região da bacia hidrográfica. Esse centro automatizado utilizaria recursos como sensores e dados climáticos para melhorar a gestão dos recursos hídricos, permitindo análises e subsídios para tomadas de decisões eficazes em tempo real. A combinação de IoT, Computação em Nuvem, Big Data e Inteligência Artificial seria utilizada para alcançar eficiência na gestão hídrica. Os autores destacam que as soluções tecnológicas são exploratórias, fundamentadas na literatura, e sugerem a continuidade dos estudos e a implementação prática das soluções propostas para aprofundar o conceito de bacias hidrográficas inteligentes e sustentáveis.

# AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela oportunidade e incentivo de desenvolver pesquisa no país e pela bolsa PIBIC recebida.

# REFERÊNCIAS

1. Al Nuaimi, Eiman; Al Neyadi, Hind; Mohamed, Nader; Al-Jaroodi, Jameela. Applications of big data to smart cities. Journal of Internet Services and Applications, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2015.
2. Bassi, Alessandro; HORN, Geir. Internet of Things in 2020: A Roadmap for the Future. European Commission: Information Society and Media, v. 22, p. 97-114, 2008.
3. Brasil. Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997.
4. Caragliu, A.; Del Bo, C.; Nijkamp, P. . Smart Cities in Europe. Journal of Urban Technology, 2011. Vol. 2, n. 18, p. 65-82.
5. Carrion, Patrícia; Quaresma, Manuela. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. Human Factors in Design, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019.
6. Coutinho, Pedro Caldas. Big Data em cidades inteligentes: um mapeamento sistemático. 2019.
7. Cruz, Matheus; BARCELLOS, Raissa; BERNARDINI, Flavia. Inteligência Artificial no Governo Eletrônico em Cidades Inteligentes: Possibilidades e Desafios. Computação Brasil, n. 43, p. 27-30, 2020.
8. Cunha, Izabella Bauer de Assis; Baracho, Renata Maria Abrantes. Dados Abertos e suas aplicações em Cidades Inteligentes. Liinc em Revista, v. 15, n. 2, 2019.
9. Debattista, Jeremy; Lange, Christoph; Scerri, Simon; Auer, Sören. Linked'Big'Data: towards a manifold increase in big data value and veracity. In: 2015 IEEE/ACM 2nd International Symposium on Big Data Computing (BDC). IEEE, 2015. p. 92-98.
10. Farias, José Ewerton P. de; Alencar, Marcelo S.; Lima, Ísis A.; Alencar, Raphael T. Cidades Inteligentes e Comunicações. Revista de tecnologia da informação e comunicação, n.1, 2011.
11. Gil, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
12. Gleick, P.; Iceland, C. Water, Security, and Conflict. Issue Brief. World Resource Institute and Pacific Institute, p. 1–16, ago. 2018.
13. Gomes, D. dos S. Inteligência Artificial: conceitos e aplicações. Olhar Científico. v1, n. 2, p. 234-246, 2010.
14. João, Belmiro do Nascimento; Souza, Crisomar Lobo de; Serralvo, Francisco Antonio. Revisão sistemática de cidades inteligentes e internet das coisas como tópico de pesquisa. Cadernos Ebape. br, v. 17, p. 1115-1130, 2020.
15. Johnsson, Rosa Maria Formiga; Melo, Marilia Carvalho de. O conceito emergente de segurança hídrica. Sustentare, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2018.
16. Kaufman, Dora. A inteligência artificial irá suplantar a inteligência humana? ESTAÇÃO DAS LETRAS E CORES EDI, 2019.
17. Kon, Fabio; Santana, Eduardo Felipe Zambom. Cidades Inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios. Jornadas de atualização em informática, v. 17, 2016.
18. Krishnamachari, Bhaskar; Power, Jerry; Kim, Seon Ho; Shahabi, Cyrus. I3: An IoT marketplace for smart communities. In: Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. 2018. p. 498-499.
19. Lemos, André; De que forma as novas tecnologias - como a computação em nuvem, o Big Data e a internet Das coisas - podem melhorar a condição de vida nos espaços urbanos?. Revista GV-EXECUTIVO - Fundação Getúlio Vargas, v. 12 n. 2, 2013.
20. Nam, T.; Pardo, T.A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people and institutions. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL, 2011.
21. Pedrosa, Paulo Hc; Nogueira, Tiago. Computação em nuvem. Acesso em, v. 6, 2011.
22. Russell, Stuart; Norvig, Peter. Inteligência Artificial. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.
23. Sampieri, Roberto Hernandez; Collado, Carlos Fernadez; Lucio, Pilar Batista Otros Metodología de la Investigación, v. 3, 1991.
24. Silveira, D. T.; Córdova, F. P. A pesquisa científica. In: Gerharddt, T. E. e Silveira, D. T. (org.). Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora de UFRGS, P. 31-42, 2009.
25. Sousa, Flávio RC; Moreira, Leonardo O.; Machado, Javam C. Computação em nuvem: Conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. II Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI), p. 150-175, 2009.
26. Taurion, Cezar. Cloud computing-computação em nuvem. Brasport, 2009.
27. Toppeta, D. The smart city vision: how innovation and ICT can build smart, “livable”, sustainable cities. The Innovation Knowledge Foundation, 2010.
28. Tucci, Carlos EM. Hidrologia: ciência e aplicação.; 2. reimpr. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.
29. Tundisi, José Galizia. Água no século XXI: enfrentando a escassez. 2003.
30. Ward, Jonathan Stuart; BARKER, Adam. Undefined by data: a survey of big data definitions. arXiv preprint arXiv:1309.5821, 2013.
31. Yigitcanlar, T.; Kamruzzaman, M.; Buys, L.; Ioppolo, G.; Sabatini-Marques, J., da Costa, M.; Yun, J. J. Understanding ‘smart cities’: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. Cities, v. 81, p. 145-160, 2018.