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

**Emílio José Biasi**

Engenharia de Software

CEATEC

emilio.jb@puccampinas.edu.br

**Orandi Mina Falsarella**

Informação para Gestão e Inovação

CEA

orandi@puc-campinas.edu.br

**Resumo:** *A água é um dos recursos fundamentais para a sobrevivência da humanidade e é no contexto das bacias hidrográficas que se percebe a escassez e a degradação do seu uso. Um dos fatores importantes para que esse bem esteja disponível na quantidade e qualidade adequada é a capacidade de gestão e governança dos recursos hídricos. Assim, o uso de indicadores é essencial e não menos importante é a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), principalmente IoT e Big Data, para auxiliar na coleta de informações e no cálculo dos indicadores. Assim, esse trabalho tem como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e e exemplificar como o Índice de Qualidade da Água(IQA) pode ser obtido com a utilização de TIC como IoT e Big Data. Como resultado descreve como o objetivo do trabalho foi alcançado.*

**Palavras-chave:** *Gestão de recursos hídricos. Cidades inteligentes. 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**

Dentre os bens comuns ameaçados, a água desponta como principal recurso cercado de incertezas quanto à sua sustentabilidade. A questão fundamental não está ligada à disponibilidade e nem à capacidade tecnológica de tratamento, mas sim à complexidade, efetividade e aplicabilidade dos instrumentos de gestão e governança dos recursos hídricos [4], cujos instrumentos devem abranger, além dos fatores climáticos e ambientais, o ciclo de vida da água, ou seja, geração por meio de ciclos hidrológicos naturais, retenção e armazenamento, captação, tratamento, distribuição, consumo pelos diversos atores, sejam os consumidores pessoas físicas ou jurídicas, e tratamento e devolução para a natureza para reúso urbano ou rural.

A definição de políticas e estratégias de ação, precede de diagnósticos, quando problemas são convertidos em indicadores, facilitando a sua compreensão e o processo de tomada de decisão [21].

O uso de indicadores é essencial e não menos importante é a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para auxiliar no seu cálculo. Assim, as TIC podem contribuir consideravelmente, principalmente as emergentes, como é o caso da Internet das Coisas (IoT) e do Big Data.

O Big Data tem potencial contribui ao fazer previsões melhores e tomar decisões mais inteligentes, sem a necessidade de se utilizar da intuição, uma vez que decisões apoiadas em evidências são mais assertivas [13]. Já IoT pode contribuir com a coleta de dados a partir de uma rede de sensores no espaço de uma bacia hidrográfica.

Desse modo, pensando na quantidade de informações existentes e produzidas no contexto das bacias hidrográficas e na importância de ter indicadores que retratem fielmente determinada situação para auxiliar na gestão dos recursos hídricos, um questionamento pode ser feito é como Big Data e IoT podem ser utilizados para auxiliar no cálculo desses indicadores?

Assim, esse trabalho tem como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e exemplificar como o Índice de Qualidade da Água pode ser obtido com a utilização de TIC como IoT e Big Data.

1. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 
   1. **Gestão de recursos hídricos**

O tema de gestão de recursos hídricos é introduzido afirmando que com o crescimento de centros urbanos os problemas ambientais aumentaram em um ritmo acelerado, trazendo perda ecológica considerável, uma vez que aumentaram proporcionalmente o consumo e a exploração dos recursos naturais [20]. Outro fator importante é o crescimento exponencial de pessoas nos centros urbanos o que contribui para uma demanda ainda maior de água, acompanhada de práticas de desperdício provenientes da falta de conscientização, grande quantidade de poluição e toxinas presentes e o acesso limitado à água potável e saneamento básico para toda a população o que leva à escassez da água, que afeta diretamente a saúde, economia e meio ambiente como todo [14].

“Em termos práticos, os sistemas de gestão dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender às expectativas e aos desejos da comunidade, nos limites impostos pela aptidão natural das bacias hidrográficas, seja na perspectiva mais utilitarista seja para o atendimento de objetivos de preservação ambiental, idealmente na medida equilibrada que é requerida para a garantia da sustentabilidade, no médio e no longo prazos” [19].

Nesse caso, para a gestão de recursos hídricos de modo eficiente e eficaz, de modo que haja disponibilidade hídrica para que os seres que dependam da água para sobrevivência e desenvolvimento das suas atividades produtivas, é fundamental possuir informações e subsídios para auxiliar o processo decisório.

* 1. **Importância dos Indicadores**

Um indicador é caracterizado pelo conjunto de informações fornecidas sobre determinada realidade, com índices mensuráveis e com valores de referência padrão que tornam situações mensuráveis [7].

O principal uso de indicadores de se dá por disponibilizar informações de forma unificada, para que se tornem mais fáceis de serem compreendidas [15]. [...] O conjunto de indicadores ambientais servirá para propiciar um melhor aproveitamento dos recursos naturais e também para indicação de medidas preventivas de degradação ambiental e consequentes prejuízos econômicos para a sua reparação [...] [17].

"Ao desenvolver e aplicar indicadores de sustentabilidade, esses devem considerar as particularidades de uma região, do contrário, eles estarão sujeitos à ineficácia ou comprometimento do processo de tomada de decisão” [22].

* 1. **Indicadores para gestão de recursos hídricos**

A situação de muitos rios, lagoas e praias brasileiras é crítica, levando em conta a contaminação e poluição, o que dificulta os usos econômicos como distribuição voltada à agropecuária, abastecimento urbano e industrial, o que torna indispensável formas de conservação dos recursos hídricos, para garantir a quantidade e a qualidade da água, o que implica na utilização de indicadores para análise [16].

A gestão dos recursos hídricos funciona para que haja o controle de ações e intervenções com o intuito de diminuir os impactos negativos nas águas, além de poupar este recurso finito, através de planejamento e uso de indicadores que oferecem subsídio aos gestores através de medidas, facilitando a avaliação do recurso água [14].

O monitoramento qualitativo e quantitativo dos recursos hídricos é uma excelente forma de avaliar a oferta hídrica e subsidiar os gestores na tomada de decisões a respeito do aproveitamento múltiplo e integrado da água, incluindo a preocupação com a minimização de impactos ao meio ambiente [10].

Existe o chamado Índice de Qualidade de Água (IQA), desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta com objetivo de disponibilizá-la para o abastecimento público, após tratamento [2].

É descrito o índice como uma média ponderada em que o resultado de múltiplos testes é representado em um único valor de 0 a 100 [12].

A fórmula utilizada para cálculo do valor do IQA como [2]:

**IQA = Πn qiwi (1)**

**i = 1 (2)**

Nesta fórmula:

IQA - Índice de Qualidade da Água que varia de 0 a 100;

qi - qualidade relativa do parâmetro i-ésimo, obtido através da curva média de cada parâmetro;

wi - é o peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade;

n - número de parâmetros (n = 9, devido aos nove parâmetros utilizados).

Há padrões ambientais e microbiológicos para o lançamento de efluentes dos corpos d’água do Brasil destinados à inúmeras atividades da sociedade que são definidos pela Resolução CONAMA 357/05 e que a Portaria 05/89-SSMA estabelece padrões de emissão dos efluentes líquidos utilizados para observar as fontes poluidoras. Dentre os parâmetros citados estão temperatura, sólidos dissolvidos e sedimentares, medição do PH da água, turbidez, gases e substâncias, a quantidade de oxigênio dissolvido e coloração da água [8].

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para o cálculo do IQA, suas nomenclaturas e unidades de medida.

**Tabela 1 - Parâmetros utilizados para a determinação de qualidade.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetro** | **Nomenclatura** | **Unidade** | **Peso wi** |
| Coli termotolerantes | Coli | NMP/100mL | 0,15 |
| pH | pH |  | 0,12 |
| DBO5 | DBO | mg/L | 0,10 |
| Nitrogênio total | NT | mgN/L | 0,10 |
| Fósforo total | PT | mgP/L | 0,10 |
| Temperatura | DifT | oC | 0,10 |
| Turbidez | Turb | NTU | 0,08 |
| Resíduos totais | ST | mg/L | 0,08 |
| Oxigênio Dissolvido | OD | % satur | 0,17 |

Fonte: autores do trabalho

* 1. **IoT e BIG Data**

A Internet das Coisas (IoT), como a definição da interação existente entre objetos do cotidiano que se conectam através da internet, considerando-os inteligentes, devido a troca, geração e processamento de dados através de uma comunicação sem fio, sem necessitar da interação humana [18].

A internet foi a forma digital de comunicação digital inovadora entre os humanos, e que o IoT se trata da evolução da internet, no qual permite a conexão entre objetos do cotidiano de forma inteligente a ponto de, através da internet, controlá-los e realizar trocas de dados entre os mesmos para que possam ser aplicados em diversas áreas da sociedade, como a saúde, cidades inteligentes, entre outras [24].

Com o grande crescimento exponencial do volume de dados gerados surge a necessidade de se desenvolver tecnologias capazes de processá-los de forma proporcional e evolutiva, como é o caso do Big Data.

O Big Data é o termo que expressa o conjunto de dados produzidos atualmente pela sociedade, e que tem foco no processamento de grande quantidade de dados, como os provenientes de mídias sociais ou redes de sensores [5].

De forma abrangente, o Big Data pode ser caracterizado como a junção dos cinco V’s, e são eles o Volume, que está relacionado à quantidade de dados disponíveis para o processamento, a Variedade de fontes e tipos, incluindo informações estruturadas e não estruturadas, a Velocidade com que as informações surgem e se acumulam, a Veracidade dos dados e das informações geradas e por fim o Valor que é agregado nos dados que após o processamento se tornam informações úteis e valiosas. [23].

1. **METODOLOGIA**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, pois o “[...] tema escolhido é pouco explorado [...]”[9], uma vez que não existem referências da utilização de IoT e Big Data para auxiliar no cálculo de indicadores úteis para a gestão de recursos hídricos.

Os dados do estudo, de caráter qualitativo, serão obtidos por meio de uma pesquisa bibliográfica sobre os temas gestão de recursos hídricos, indicadores para gestão de recursos hídricos, IoT e Big Data. Essa abordagem é prescritiva, uma vez que busca observar maneiras diferentes de avaliar como os conceitos envolvidos se integram e se complementam.

1. **UTILIZAÇÃO DE IoT E BIG DATA PARA CÁLCULO DE INDICADORES**

Tendo como objetivo relacionar alguns indicadores que podem ser úteis para a gestão de recursos hídricos e apresentar como eles podem ser calculados com a utilização de TIC como IoT e Big Data, a seguir será exemplificado como pode ser feito o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) no contexto de uma bacia hidrográfica.

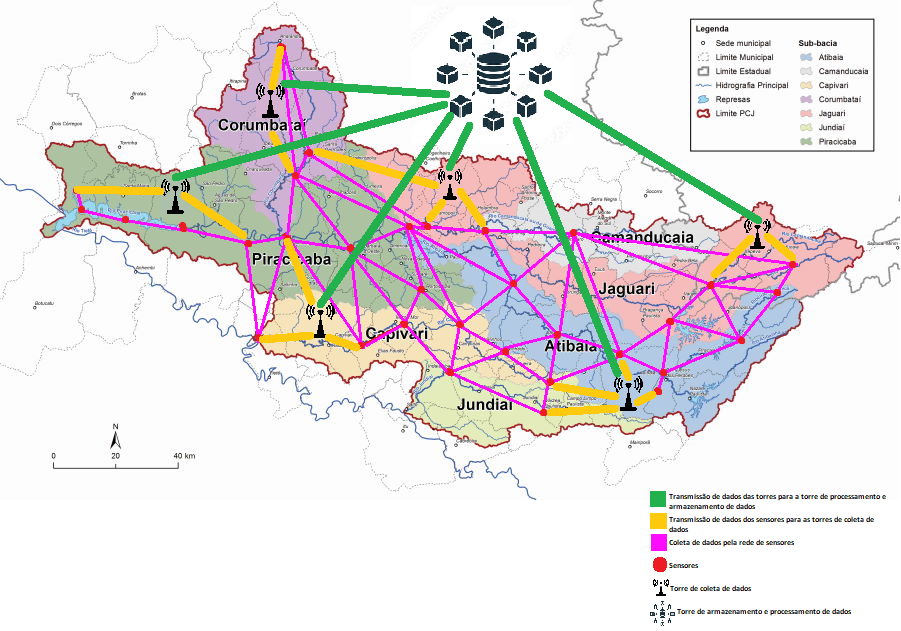
Utilizando-se de IoT, é possível criar um sistema de coleta de informações sobre os parâmetros de qualidade da água a partir de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), espalhados no espaço de uma bacia hidrográfica, conforme exemplificado pela Figura 1, que representa o espaço das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí que tem uma área aproximada de 15.377 km², sendo 92,45% no Estado de São Paulo e 7,55% no Estado de Minas Gerais.

Neste exemplo, uma grande quantidade de sensores, cada um com sua finalidade, seria distribuída em locais estratégicos dentro da área das bacias hidrográficas para coletar as informações necessárias em tempo real e transmiti-las por meio de torres de transmissão para uma central de armazenamento e processamento de informação.

Diante da coleta de informações de cada um dos sensores e do volume de informações coletadas, seria necessária uma base de dados para armazenar os parâmetros recebidos, e então enviá-los até a aplicação Big Data que realizaria a análise e o cálculo do IQA com base na fórmula de cálculo deste indicador.

Procurando exemplificar como IoT e Big Data podem contribuir com a determinação do indicador de qualidade da água, serão utilizados os parâmetros descritos na Tabela 1.

**Figura 1 – Rede de Sensores Sem Fio para coleta de parâmetros de qualidade da água**



Fonte: autores, adaptado de Agência das Bacias PCJ [1].

Com base no indicador de PH é possível identificar o valor através da utilização de um transmissor de PH que mede a acidez ou alcalinidade de um líquido. O PH é calculado através de uma escala logarítmica com intervalo de 0 à 14, na qual o valor 7 corresponde à água pura, e que os valores abaixo de 7 demonstram a acidez da água, enquanto valores acima correspondem a uma água básica (alcalina).

Uma opção de baixo custo de sensor IoT para a obtenção dos valores de PH da água, utilizando um sensor que funciona com fonte de alimentação de 5V e interface com arduino [6].

Outro parâmetro necessário para a determinação do IQA é a temperatura, que é possível ser obtida por meio de um sensor IoT, para posterior identificação se o valor está de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/05 [3] que afirma que a temperatura média da água para lançamento de efluentes deve ser inferior a 40ºC, enquanto a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3ºC.

É exemplificado que a coleta de temperatura pode ser realizada através de um sensor composto por resistência que utiliza metais com alto grau de linearidade de resistência na faixa de temperatura para a qual foi feito, termistor que são semicondutores e que a resistência elétrica varia de acordo com a temperatura ou termopar que são mais robustos e suportam até altas temperaturas [11].

O processamento e a análise de dados seriam baseados em aplicações Big Data, uma vez que oferece uma solução flexível para permitir o processamento de dados provenientes da rede de sensores, mas também de bancos de dados externos e informações armazenadas em históricos. Com o Big Data é possível realizar o cálculo do IQA com a utilização das variáveis recebidas, em tempo real ou offline

Com estas funcionalidades, é possível criar um sistema de análise dos dados recebidos de cada ponto onde estarão alocados os sensores, diferenciar as áreas, realizar o cálculo de qualidade da água e então oferecer recomendações aos gestores, como subsídio de apoio à decisão no campo de gestão dos recursos hídricos. Também é possível a partir da aplicação de Big Data criar um *Dashboard* para fornecer os gestores indicadores detalhados e consolidados, como por exemplo o IQA em um local específico de coleta, em uma região da bacia hidrográfica, ao longo de um curso de água e em toda a sua extensão, ao longo de uma cidade ou de forma mais consolidada o IQA da bacia hidrográfica como um todo.

Desta forma, com o apoio dos dados coletados em tempo real, e a análise feita pela plataforma do Big Data, é possível subsidiar e facilitar o processo de tomada de decisão de forma mais assertiva, e garantir o cuidado mais efetivo com o meio ambiente.

1. **CONCLUSÕES**

O trabalho detalhou a utilização de IoT e BIG Data para a criação do indicador de qualidade da água, fato que pode ser utilizado para outros indicadores que possam ter seus parâmetros coletados por meio de sensores e consolidados por meio de aplicações Big Data, como indicadores quantitativos e fornecer em tempo real informações e subsídios para auxiliar o processo decisório.

Com a utilização da rede de sensores IoT e Big Data, torna-se possível um controle mais minucioso e efetivo de áreas possivelmente afetadas por detritos descartados nos corpos hídricos pelas indústrias e poluição provenientes do descarte incorreto de materiais nas cidades, uma vez que será possível obter o IQA em cada região demarcada, e desta forma analisar causas para os diferentes valores, e aplicar tratamentos específicos e políticas mais severas para cada situação, em prol da saúde da população contribuindo para a preservação hídrica no espaço de uma bacia hidrográfica.

Quanto a tecnologia existente atualmente pequenas aplicações poderiam ser iniciadas para o que está se propondo, no entanto deve ser um processo de implantação lento, como ocorreu com a telefonia móvel, que até hoje tem dificuldade de ser utilizada em várias partes do Brasil e também em outros países.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço à Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) pela bolsa e pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

# REFERÊNCIAS

1. AB-PCJ, Agência das Bacias PCJ, localização, disponível em: https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/.
2. ALMEIDA, M.B. e SCHWARZBOLD, A Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroi da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8: 81-97, 2003.
3. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.
4. CHAFFIN, B. C. et al. Transformative environmental governance. Annual Review of Environment and Resources, v. 41, 2016.
5. CALDAS, Max Silva; SILVA, Emanoel Costa Claudino. Fundamentos e aplicação do Big Data: como tratar informações em uma sociedade de yottabytes. 2016.
6. DAIGAVANE, Vaishnavi V.; GAIKWAD, M. A. Water quality monitoring system based on IoT. Advances in wireless and mobile communications, v. 10, n. 5, p. 1107-1116, 2017.
7. DIAS, Isabel Cristina Lopes. Indicadores de sustentabilidade de bacia hidrográfica e hidroquímica de poços no estado do Maranhão: Subsídios ao gerenciamento e conservação dos recursos hídricos. 2018. 151 f. Tese de doutorado
8. FERNANDES, Vera Maria Cartana. Padrões para reuso de águas residuárias em ambientes urbanos. II simpósio nacional sobre o uso da água na agricultura, Passo Fundo, 2006.
9. GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
10. GLORIA, Lucivania Pereira; HORN, Bruna Carolina; HILGEMANN, Maurício. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água-IQA. Revista Caderno Pedagógico, 2017.
11. LIMA, Ellen Lima et al. Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem. 2018.
12. LOPES, Frederico Wagner de Azevedo; JÚNIOR, Antônio Pereira Magalhães. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. Revista Geografias, 2010.
13. MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik, Big data: the management revolution, Harvard Business Review, October, 2012
14. MIRANDA, Graziele Muniz. Indicadores do potencial de gestão municipal de recursos hídricos. 2012.
15. MIZUTANI, Meriellen Nuvolari Pereira; CONTI, Diego de Mello. Indicadores De Sustentabilidade Como Ferramenta De Gestão No Planejamento Urbano: Um Estudo Sobre A Cidade De Barueri. Humanidades & Inovação, 2021.
16. DE MORAES, Luiza Alice Ferreira; DE SOUZA FILHO, Edvard Elias. Indicadores ambientais e desenvolvimento sustentado. Acta Scientiarum. Technology, v. 22, p. 1405-1412, 2000.
17. NETO, Jorge Mattar, KRÜGER, Cláudio Marchand e DZIEDZIC, Maurício. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2009, v. 14, n. 2 [Acessado 17 Novembro 2021] , pp. 205-213.
18. NEVES, Mateus Aparecido Tonin. Internet das coisas (IOT): introdução e visão geral de aplicações. 2021
19. PORTO, Monica, F. A.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, 2008
20. SANTIN, Janaína Rigo e GOELLNER, Emanuelle. A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso. Sequência (Florianópolis) [online]. 2013.
21. SOARES, A. B.; SILVA FILHO, J. C. L.; ABREU, M. C. S.; SOARES, F. A. Revisando a estruturação do modelo dpsir como base para um sistema de apoio à decisão para a sustentabilidade de bacias hidrográficas. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, 2011.
22. SUGAHARA, C. R.; MARTINS, A. M; BUENO, J. O. A.; WATANABE, A. M; GONÇALVES, D. A. G., JUCÁ, L. B. Q. e & MARIOSA, D. F. Avaliação da sustentabilidade das bacias PCJ a partir de indicadores de disponibilidade e demandas hídricas. II Sustentare – Seminário de Sustentabilidade da PUC-Campinas. 2020
23. TAURION, Cezar. Big data. Brasport, 2013.
24. ZABADAL, Bernardo Moreira; DE CASTRO, Bianca Francinny Lisboa Murta. IoT e seus principais desafios. Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação, v. 3, n. 1, 2017.