

INTERNET DAS COISAS (IOT) COMO FERRAMENTA INOVADORA PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL E A GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS EM ECOSISTEMAS COSTEIROS

**Isabel Conceição Sousa¹, Luiz Carlos Gomes da Silva Júnior², Élcio Berilo Barbosa dos Santos Júnior³, Maria Eduarda Ribeiro da Silva ⁴, Carlos Tiago Mendes dos Santos⁵,
Michelle Suzane Mendes Pinheiro de Oliveira⁶**

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

isabel.cs@discente.ufma.br

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

luiz.cgsj@discente.ufma.br

³ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

elcio.junior@discente.ufma.br

⁴ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

maria.ribeiro1@discente.ufma.br

⁵ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

carlos.tiago@discente.ufma.br

⁶Orientadora. Universidade Federal do Maranhão, São Luis - MA, Brasil, email:

michelle.pinheiro@ufma.br

Resumo: Este artigo tem como objetivo analisar e demonstrar as aplicações das tecnologias de Internet das Coisas (IoT) no monitoramento ambiental e na gestão sustentável de recursos hídricos, com foco em ecossistemas costeiros sensíveis como os manguezais. A metodologia adotada consiste em uma revisão sistemática da literatura, utilizando artigos científicos, relatórios técnicos e estudos de caso que abordam o uso da IoT em diversas áreas. Foram identificadas aplicações relevantes no monitoramento de qualidade de água em bacias hidrográficas e áreas costeiras especialmente em regiões como o litoral norte do Brasil, a exemplo do estado do Maranhão, no controle de irrigação em agricultura de precisão e no rastreamento de fauna ameaçada. Um exemplo destacado é o uso de sensores de baixo custo para acompanhar parâmetros físico-químicos como pH, turbidez, salinidade e oxigênio dissolvido em manguezais brasileiros, contribuindo para processos de biorremediação e conservação da

biodiversidade. Em ambientes urbanos, plataformas baseadas em IoT foram utilizadas para monitorar qualidade do ar e consumo de energia em edificações, reduzindo custos e otimizando o uso de recursos naturais. Os resultados apontam que a IoT constitui uma plataforma tecnológica de baixo custo, capaz de automatizar a coleta de dados em tempo real, reduzir custos operacionais e ampliar a precisão das análises. Além disso, a integração de sensores e redes sem fio potencializa práticas de desenvolvimento sustentável e o uso racional dos recursos hídricos. Conclui-se que a IoT representa uma ferramenta indispensável para a gestão inteligente de ecossistemas costeiros e para a mitigação de impactos ambientais em áreas urbanas e rurais.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Monitoramento ambiental. Sustentabilidade. Ecossistemas costeiros. Gestão de recursos hídricos.

APPLICATIONS OF INTERNET OF THINGS (IOT) FOR ENVIRONMENTAL MONITORING AND RESOURCE MANAGEMENT

**Isabel Conceição Sousa¹, Luiz Carlos Gomes da Silva Júnior², Élcio Berilo Barbosa dos Santos Júnior³, Maria Eduarda Ribeiro da Silva⁴, Carlos Tiago Mendes dos Santos⁵,
Michelle Suzane Mendes Pinheiro de Oliveira⁶**

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

isabel.cs@discente.ufma.br

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

luiz.cgsj@discente.ufma.br

³ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

elcio.junior@discente.ufma.br

⁴ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

maria.ribeiro1@discente.ufma.br

⁵ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, e-mail:

carlos.tiago@discente.ufma.br

⁶Orientadora. Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, email:

michelle.pinheiro@ufma.br

Summary: This article aims to analyze and demonstrate the applications of Internet of Things (IoT) technologies for environmental monitoring and the sustainable management of water resources, with a focus on sensitive coastal ecosystems such as mangroves. The adopted methodology consists of a systematic literature review, using scientific articles, technical reports, and case studies that address the use of IoT in various areas. Relevant applications were identified in monitoring water quality in watersheds and coastal areas, controlling irrigation in precision agriculture, and tracking endangered fauna. A highlighted example is the use of low-cost sensors to monitor physicochemical parameters such as pH, turbidity, salinity, and dissolved oxygen in Brazilian mangroves, contributing to bioremediation processes and biodiversity conservation. In urban environments, IoT-based platforms have been used to monitor air quality and energy consumption in buildings, reducing costs and optimizing the use of natural resources. The results indicate that IoT constitutes a low-cost

technological platform capable of automating real-time data collection, reducing operational costs, and increasing the accuracy of analyses. Furthermore, the integration of sensors and wireless networks enhances sustainable development practices and the rational use of water resources. It is concluded that IoT represents an indispensable tool for the intelligent management of coastal ecosystems and for mitigating environmental impacts in both urban and rural areas.

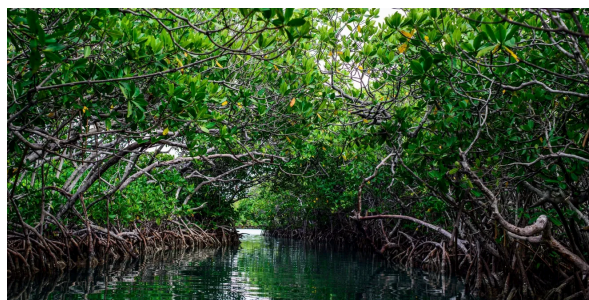
Keywords: Internet of Things. Environmental monitoring. Sustainability. Coastal ecosystems. Water resources management.

INTRODUÇÃO

Segundo Santos, Corado e Araújo (2020), o monitoramento ambiental tem ganhado crescente relevância diante da intensificação das pressões antrópicas sobre os ecossistemas naturais e da necessidade de estratégias mais eficazes para mitigar os impactos ambientais. Ecossistemas costeiros, como os manguezais, são particularmente sensíveis às alterações climáticas e às atividades humanas, desempenhando funções ecossistêmicas vitais, como a exportação de matéria orgânica para os estuários, a regulação climática e o fornecimento de habitat para espécies marinhas economicamente importantes. De acordo com Baishya e Das (2022), tecnologias de monitoramento baseadas em IoT possibilitam a coleta e transmissão contínua de dados ambientais em tempo real, favorecendo respostas rápidas e fundamentadas em evidências, especialmente em ambientes sensíveis como os ecossistemas costeiros. No Brasil, esses ecossistemas ocupam uma área de aproximadamente 9.600 km², com destaque para os estados do Maranhão, Pará e Bahia, que concentram parte significativa da cobertura de manguezais no país.

Diante desse cenário, a Internet das Coisas (IoT) desponta como uma solução tecnológica promissora, capaz de transformar a forma como coletamos, analisamos e utilizamos dados ambientais. Essa tecnologia permite que sensores distribuídos em áreas remotas monitorem parâmetros físico-químicos críticos, como pH, turbidez, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e concentração de dióxido de carbono. Esses sensores, conectados a redes sem fio, transmitem dados em tempo real para plataformas na nuvem, onde são processados e analisados, subsidiando políticas públicas e estratégias de gestão ambiental mais robustas (CORREIA et al., 2022).

Figura 1. *Manguezal brasileiro: ecossistema costeiro essencial para a biodiversidade.*



Fonte: Olhar Oceanográfico (2020).

Pamula, Ravilla e Madiraju (2022) apontam que o uso de redes de sensores baseadas em IoT tem crescido significativamente no monitoramento de contaminantes em ambientes como o ar, a água e o solo. Esses sistemas permitem não apenas a detecção em tempo real de parâmetros críticos, mas também a automação da resposta a eventos ambientais, ampliando a eficácia das ações de mitigação e controle. Na agricultura de precisão, De Souza e Santos (2025) destacam que sistemas IoT utilizam sensores para monitorar continuamente propriedades do solo — como umidade, pH e níveis de nutrientes — e condições climáticas, como temperatura e umidade do ar. Esses dados em tempo real permitem intervenções direcionadas, otimizando a irrigação e o uso de fertilizantes, reduzindo desperdícios e promovendo sustentabilidade.

Segundo Correia et al. (2022), a IoT possibilita a integração de sensores e plataformas digitais para fornecer dados e alertas em tempo real, permitindo ações preventivas, redução de custos operacionais e resposta imediata a eventos críticos. Além dos exemplos locais, estudos internacionais também mostram o potencial da IoT no suporte à tomada de decisão em tempo real, por meio de painéis de controle que apresentam tendências, alertas e dados para manutenção preditiva e preventiva (BAISHYA; DAS, 2022).

Apesar do avanço das tecnologias de IoT, ainda existem diversos desafios para sua implementação em larga escala, incluindo a integração entre plataformas, a padronização de sensores e a escassez de profissionais capacitados. Conforme apontam Khan et al. (2023), a interoperabilidade entre dispositivos, os altos custos iniciais e a falta de infraestrutura adequada são obstáculos que precisam ser superados para que os sistemas baseados em IoT possam ser aplicados de forma eficiente e sustentável em diferentes setores.

MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi realizada uma revisão sistemática da literatura com foco nas aplicações da Internet das Coisas (IoT) no monitoramento ambiental e na gestão dos recursos hídricos em áreas costeiras, como os manguezais.

A pesquisa foi desenvolvida por meio da consulta a artigos científicos disponíveis em bases de dados reconhecidas, como Scopus, Web of Science, SciELO, IEEE Xplore e Google Scholar. A busca incluiu publicações entre os anos de 2013 e 2024, utilizando termos

relacionados à temática, como Internet das Coisas, monitoramento ambiental, recursos hídricos e ecossistemas costeiros.

Foram selecionados trabalhos que apresentavam experiências práticas com sensores e dispositivos conectados em ambientes naturais, especialmente os que envolvem o acompanhamento de parâmetros como pH, salinidade, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido. Também foram considerados estudos que trouxeram soluções de baixo custo e com potencial de aplicação em contextos semelhantes ao brasileiro.

Além dos artigos científicos, também foram analisados relatórios técnicos de instituições ambientais, e projetos compartilhados em plataformas abertas, como GitHub e ThingSpeak, que mostram na prática como esses sistemas são montados e utilizados em campo.

As informações reunidas foram organizadas e comparadas com base em suas contribuições para a sustentabilidade e conservação dos ecossistemas costeiros. O tratamento dos dados foi qualitativo, com ênfase na identificação dos benefícios, limitações, desafios técnicos e sociais enfrentados na adoção dessas tecnologias.

Por fim, os resultados foram analisados de forma crítica, buscando evidenciar como a IoT tem sido aplicada na realidade, seus impactos positivos na gestão dos recursos hídricos e as possibilidades futuras para ampliar o uso dessa tecnologia em políticas públicas e projetos ambientais voltados à preservação dos ecossistemas costeiros.

No total, foram identificados 58 documentos durante a pesquisa inicial nas plataformas Google Acadêmico, SciELO e Portal de Periódicos da CAPES. Após a leitura dos títulos, resumos e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 22 artigos foram selecionados para leitura completa e análise detalhada. A maioria das publicações concentra-se entre os anos de 2019 e 2023, refletindo o aumento do interesse científico pelas aplicações da Internet das Coisas no contexto ambiental. Observou-se uma predominância de estudos desenvolvidos no Brasil, mas também foram encontrados trabalhos relevantes de autores da Índia, Estados Unidos e países da União Europeia. A Tabela 1 resume os principais dados da revisão sistemática realizada.

Tabela 1 – Resumo dos dados da revisão sistemática

Critério	Resultado
-----------------	------------------

Artigos identificados inicialmente	58
Artigos selecionados para análise	22
Período das publicações	2013 a 2024 (com ênfase em 2019–2023)
Principais bases consultadas	Google Acadêmico, SciELO, Portal de Periódicos CAPES
Principais países dos estudos	Brasil, Índia, Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido
Principais temas abordados	IoT, monitoramento ambiental, ecossistemas costeiros, sensores

Fonte: Elaborado pelos autores com base na revisão bibliográfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Qadri et al. (2024), o avanço da Internet das Coisas tem impulsionado uma nova era na pesquisa ambiental e na gestão de recursos naturais. Os autores destacam que a capacidade de coletar dados em tempo real e integrar esses dados a modelos adaptativos torna a IoT uma aliada estratégica na promoção da sustentabilidade, eficiência e inovação nos processos de monitoramento.

No estudo desenvolvido por Santos et al. (2019), foi criado um sistema automatizado de baixo custo para monitoramento da umidade do solo em uma casa de vegetação. O protótipo, baseado em sensores acoplados ao microcontrolador ESP8266, proporcionou dados contínuos e confiáveis, permitindo maior compreensão sobre o comportamento da umidade do solo ao longo do tempo.

De forma complementar, Leal Júnior et al. (2020) desenvolveram um sistema voltado ao monitoramento automatizado da qualidade da água, com aplicação inicial em sistemas hidropônicos. Utilizando sensores multiparâmetro e plataforma online, o sistema permitiu o acompanhamento remoto de variáveis como pH, turbidez e oxigênio dissolvido.

Segundo os autores, a automação exerce um papel fundamental na execução de tarefas repetitivas, reduzindo o esforço humano em atividades operacionais e rotineiras. Ao permitir maior precisão e regularidade na realização dessas tarefas, ela também contribui para o aumento da eficiência dos processos. Além disso, os dados gerados por sistemas

automatizados subsidiam decisões mais assertivas e estratégicas, favorecendo a melhoria contínua e a otimização dos recursos disponíveis.

CONCLUSÃO

Este estudo evidencia o papel crescente da Internet das Coisas (IoT) como ferramenta estratégica no monitoramento ambiental e na gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em ecossistemas costeiros como os manguezais. Ao integrar sensores de baixo custo e redes de comunicação em tempo real, torna-se possível acompanhar de forma contínua parâmetros ambientais, o que contribui para decisões mais rápidas e precisas na proteção desses ambientes.

Os resultados indicam que, apesar dos desafios de infraestrutura, capacitação e padronização, as soluções baseadas em IoT apresentam enorme potencial de aplicação, tanto em áreas urbanas quanto rurais. A adoção dessas tecnologias representa não apenas um avanço técnico, mas uma nova abordagem para enfrentar os impactos ambientais de forma integrada, acessível e conectada à realidade local.

Assim, reforça-se a importância de fomentar políticas públicas, parcerias institucionais e iniciativas de pesquisa que viabilizem a expansão do uso da IoT em ações de preservação, planejamento ambiental e desenvolvimento sustentável. O futuro da conservação dos ecossistemas costeiros dependerá, cada vez mais, da capacidade de unir inovação tecnológica, sensibilidade ecológica e compromisso social.

REFERÊNCIAS

BAISHYA, Shreya; DAS, Sudeep. *Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring and its Future Aspects*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), v. 11, n. 6, p. 6–9, 2022. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/internet-of-things-iot-for-environmental-monitoring-and-its-future-aspects-IJERTV11IS060005.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2025.

CORREIA, Ronaldo F. et al. *Monitoramento ambiental com IoT*. Instituto Carbono Zero, 2022. Disponível em: <https://www.carbonozero.org.br/monitoramento-ambiental-iot>. Acesso em: 7 jul. 2025.

DE SOUZA, João; SANTOS, Maria. *Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture*. *Frontiers in Plant Science*, 2025. Disponível em: <https://www.frontiersin.org>. Acesso em: 7 jul. 2025.

KHAN, Y.; SU'UD, M. B. M.; ALAM, M. M.; AHMAD, S. F.; AYASSRAH, A. Y. A. B.; KHAN, N. *Application of Internet of Things (IoT) in Sustainable Supply Chain Management*. *Sustainability*, v. 15, n. 694, p. 1–25, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010694>. Acesso em: 7 jul. 2025.

KATIE, B. *Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring*. *International Journal of Computing and Engineering*, v. 6, n. 3, p. 29–42, 2024. DOI: <https://doi.org/10.47941/ijce.2139>. Acesso em: 22 jun. 2025.

LEAL JUNIOR, W. B.; ARAÚJO, H. X.; TAVARES, F. M. *Monitoramento da Qualidade da Água Utilizando Plataforma de Internet das Coisas*. *Revista Humanidades e Inovação*, v. 7, n. 9, p. 48–52, 2020. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/2185/1655>. Acesso em: 22 jun. 2025.

PAMULA, Abhiram S. P.; RAVILLA, Achyuth; MADIRAJU, Saisantosh V. H. *Applications of the Internet of Things (IoT) in Real-Time Monitoring of Contaminants in the Air, Water, and Soil*. *Engineering Proceedings*, v. 27, p. 26, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecsa-9-13335>. Acesso em: 7 jul. 2025.

QADRI, Nur Aisyah; MUTHMAINAH, Hanifah Nurul; NAINGGOLAN, Hotnida; HANDAYANI, Riska Dwi; SUPRAYITNO, Emdat. *Application of Internet of Things (IoT) Technology in Environmental Research and Management: A Literature Review on Sustainability, Efficiency, and Innovation in Natural Resource Management*. *Sciences du Nord Nature Science and Technology*, v. 1, n. 1, p. 13–19, 2024. Disponível em: <https://north-press.com/index.php/snnst>. Acesso em: 7 jul. 2025.

SANTOS, L. P.; CORADO, D. F. S.; ARAÚJO, H. X. *Aplicação da Internet das Coisas para Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio no Monitoramento Sistemático da Umidade do Solo*. Palmas: Universidade Federal do Tocantins (UFT), 2019. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2019.6426>. Acesso em: 22 jun. 2025.