

# **SISTEMAS DE MONITORAMENTO BASEADOS EM TECNOLOGIA DE INTERNET DAS COISAS PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL DE AMBIENTES IMPACTADOS POR PETRÓLEO: UMA REVISÃO**

Aristides Pavani Filho <sup>1</sup>  
Olívia Maria Cordeiro de Oliveira <sup>2</sup>  
Antônio Fernando de Souza Queiroz <sup>3</sup>  
Ícaro Thiago Andrade Moreira <sup>4</sup>  
Sergio Luís Costa Ferreira <sup>5</sup>

## **RESUMO**

Os manguezais são ecossistemas frágeis e de grande importância para o sistema estuarino e como área de berçário, reprodução de alimentação e crescimento de várias espécies de animais marinhos. Os manguezais se estendem por praticamente todo o litoral brasileiro e são considerados área de preservação permanente e reserva biológica com vital importância para a sobrevivência das comunidades pesqueiras. Por sua exposição, estes ecossistemas são particularmente impactados por derramamentos de petróleo como o que ocorreu no litoral nordeste brasileiro no segundo semestre de 2019. O monitoramento da presença de contaminantes orgânicos, principalmente HPA's, bem como o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos e do processo remediação nestes ambientes é de fundamental importância. Este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento do estado da arte em sistemas de monitoramento em manguezais utilizando sensores conectados, baseados no conceito tecnológico de Internet das Coisas (IoT), bem como o de sistemas específicos para esta aplicação. Os resultados serão utilizados como referencial de pesquisas para desenvolvimento de um sistema de monitoramento de biorremediação de manguezais impactados por petróleo.

**Palavras-chave:** Internet das coisas; Monitoramento ambiental, Sensores, biorremediação, manguezais.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO)/Instituto de Geociências (IGEO)/Universidade Federal da Bahia (UFBA), [aristidesfilho@ufba.br](mailto:aristidesfilho@ufba.br);

<sup>2</sup> Diretora, Docente/Pesquisadora do Instituto de Geociências (IGEO)/Universidade Federal da Bahia (UFBA), [olivia@ufba.br](mailto:olivia@ufba.br);

<sup>3</sup> Docente/Pesquisador do Instituto de Geociências (IGEO)/Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Diretor da Fundação de Apoio à Pesquisa e à Extensão (FAPEX), [queiroz@ufba.br](mailto:queiroz@ufba.br);

<sup>4</sup> Docente/Pesquisador do Departamento de Engenharia Ambiental/Escola Politécnica/UFBA e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO)/IGEO/UFBA, [icarotam@ufba.br](mailto:icarotam@ufba.br);

<sup>5</sup> Docente/Pesquisador do Instituto de Química (IQ)/Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Membro do Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO)/IGEO/UFBA, [slfc@ufba.br](mailto:slfc@ufba.br).

## INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas frágeis e de grande importância para o sistema estuarino e como área de berçário, reprodução de alimentação e crescimento de várias espécies de animais marinhos (ROMÃO, 2020). Se estendem por praticamente todo o litoral brasileiro e são considerados área de preservação permanente e reserva biológica com vital importância para a sobrevivência das comunidades pesqueiras (ALBUQUERQUE, 2015). Por sua exposição, estes ecossistemas são particularmente impactados por derramamentos de petróleo como o que ocorreu no litoral nordeste brasileiro no segundo semestre de 2019, que atingiu uma extensão de 2880 km, sendo considerada a maior amplitude de costa contaminada no mundo, registrada em 30 anos (IBAMA, 2019). Segundo Oliveira et al. (2020), o material oleoso que chegou às praias teve origem a partir de petróleo produzido em bacia Venezuelana.

O monitoramento da presença de contaminantes orgânicos, principalmente HPA's, bem como o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos e do processo remediação nestes ambientes é de fundamental importância. Sistemas que permitam o monitoramento de parâmetros como pH, temperatura, turbidez, salinidade, oxigênio dissolvido e concentração de CO<sub>2</sub> dentre outros, são imprescindíveis para uma avaliação da presença de hidrocarbonetos no ambiente. A adoção de sensores específicos de baixo custo permite o acompanhamento dos processos de biorremediação e a modelagem desses processos, otimizando a recuperação de ambientes degradados.

O presente trabalho tem como objetivo apontar o estado da arte de sistemas de monitoramento em manguezais utilizando sensores conectados, baseados no conceito tecnológico de Internet das Coisas (IoT) bem como o de sistemas específicos para esta aplicação. Os resultados serão utilizados como referencial de pesquisas para desenvolvimento de um sistema de monitoramento de biorremediação de manguezais impactados por petróleo.

Este trabalho está inserido no Projeto "Rede cooperativa de desenvolvimento de protocolos para avaliação de zonas costeiras impactadas por derramamento de óleo e aplicação de biotecnologias para remediação - Rede REBICOP", que dentre outros objetivos pretende utilizar agentes biorremediadores naturais selecionados como as halófitas costeiras e sua microbiota associada à rizosfera para remoção acelerada e ecologicamente correta de HPAs (MOREIRA et al. 2013), componentes do petróleo e originam-se durante a combustão incompleta de matéria orgânica (MOURA et al., 2009), em sedimentos de manguezal.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para atingir os objetivos do presente trabalho consistiu na identificação de estudos realizados no mundo todo. Foram feitas buscas no Portal de Periódicos da CAPES utilizando-se busca por assunto e busca nas Bases de Teses e Dissertações e nas bases de SciELO e SCOPUS. Foram utilizados termos de busca em inglês: *monitoring*, *environmental*, *mangrove*, *sensors*, *IoT*. As buscas não foram limitadas por língua nem data de publicação.

Para a seleção dos estudos utilizou-se como critério aqueles que abordassem o tema: “monitoramento ambiental com preferência em manguezais, utilizando sensores de parâmetros físico-químicos ambientais conectados e utilizando o conceito das tecnologias de IoT”. Foram também considerados os artigos de revisão que abordassem os aspectos do tema.

As publicações obtidas foram estudadas e classificadas pela sua relevância ao tema e nos permitiu construir uma base sólida de conhecimento. Foram pesquisados os artigos referentes às aplicações de IoT em monitoramento ambiental, os referentes aos sistemas de transmissão de dados e no desenvolvimento de sensores específicos para monitoramento ambiental dentro do conceito de internet das coisas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os manguezais estão presentes na costa brasileira, cobrindo uma área de 9600 km<sup>2</sup> correspondendo a terceira maior área de manguezais do mundo em um único país (GIRI et al. 2011). Os manguezais desempenham importante papel como exportador de matéria orgânica para os estuários, contribuindo para a produtividade primária na zona costeira, sendo considerado Área de Preservação Permanente e Reserva Biológica, em toda a sua extensão. Estes nichos são utilizados como áreas de berçário, reprodução, alimentação, crescimento e abrigo para diversas espécies de animais marinhos. Por essa razão a manutenção destes ambientes é vital para a subsistência das comunidades pesqueiras que vivem em seu entorno, uma vez que pelo menos 2/3 das espécies de peixes explorados economicamente dependem desses ecossistemas para a sua existência (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016).

A Internet das Coisas é um novo paradigma tecnológico que representa a nova onda de inovação tecnológicas com aplicações quase ilimitadas (COLACOVICK, 2018). É um conceito que emerge da visão de um mundo onde todas as coisas estarão conectadas em todos os lugares

de todas as maneiras e sob qualquer condição. IoT (*Internet of Things*) encontra suas principais aplicações em alguns poucos setores como Saúde, cidades inteligentes, indústria e agricultura, (BORGIA, 2014). Esta nova onda tecnológica chamada de Internet das coisas, IoT, propõe que todos os dispositivos eletrônicos que nos cercam estejam conectados na internet transmitindo informações que são armazenadas, tratadas e transformadas em conhecimento, que por sua vez permitem o desenvolvimento de novos produtos e serviços e políticas que permitirão uma revolução na nossa sociedade.

Com o advento das tecnologias de comunicação sem fio, o barateamento dos sistemas de processamento de sinais com sistemas acessíveis de programação em linguagem de alto-nível e a popularização de sensores para as mais variadas aplicações, surgiu a possibilidade de se elaborar redes sem fio de sensores para monitoramento remoto de parâmetros diversos, em campos de aplicações que vão desde a indústria, cidades inteligentes, saúde e agronegócios, e também no monitoramento ambiental, que pode se beneficiar da produção massiva de dados, levando a elaboração de modelos mais precisos, abrangentes e sofisticados dos sistemas ambientais em todas as suas áreas.

Apesar de bem recente, as tecnologias de internet das coisas não têm sido objeto de grandes implementações na área de monitoramento ambiental. Tziortzioti (2019) reportou o desenvolvimento de vários sensores para medidas de parâmetros de água e sua implementação em ambientes marinhos. Mahrads (2020), apresenta uma revisão em técnicas de monitoramento ambiental com sensoriamento remoto incluindo sensoriamento remoto baseado em imagens de satélite, sensoriamento remoto por imagens aéreas, sensoriamento remoto por UAV's (veículos aéreos não-tripulados), sensoriamento remoto por USV's (veículos de superfície não-tripulados), sensoriamento remoto por UUV's (veículos subaquáticos não-tripulados) e sensores estáticos, incluindo nesta classe os sensores individuais e as redes de sensores sem fio.

Anand (2021), descreve a importância de sistemas de resposta para desastres em oceanos utilizando tecnologias IoT. Dios (2017) propõe a utilização de UAV's e redes de sensores para o monitoramento ambiental em grandes áreas. Samthanakrishnan (2021), descreve aplicação de IoT para o monitoramento de bagagens, pessoas, veículos ou qualquer outra coisa, em tempo real concomitantemente com a medida de parâmetros do ambiente onde estes se encontram. Estes dados são enviados para uma base onde os dados de parâmetros ambientais são analisados e as informações utilizadas para a detecção de condições alerta para eventos críticos. Marques (2020) apresenta um sistema de monitoramento de qualidade de ar baseado em Internet das Coisas.

Na área de sensoriamento remoto, existem várias tecnologias que têm características diferentes nas suas habilidades em transmitir dados com baixo consumo de energia, alta velocidade e a longas distâncias (JEBRIL, 2018). Estas tecnologias são conhecidas como LPWANs sigla do termo em inglês *low-power-wide-area-networks*, redes de comunicação de dados de baixa potência e grande área de cobertura. Jebril (2018) fez um estudo comparativo das tecnologias LPWAN atuais e concluiu que a tecnologia LoRa, sigla derivada do termo em inglês *Long Range*, significando grande range de cobertura ONUMANYI, (2020), desenvolvida pela Semtech (Camarillo, CA, USA), apresenta vantagens sobre outras tecnologias LPWAN, principalmente no que concerne à distância de transmissão de dados.

O monitoramento dos parâmetros físico químicos durante o processo de biorremediação é fundamental para a avaliação da efetividade da remediação da contaminação por HPAs no ambiente de manguezais. Parâmetros como pH, temperatura, turbidez, salinidade, oxigênio dissolvido e concentração de CO<sub>2</sub>, além outros, são obtidos concomitante com a análise química dos sedimentos que são coletados periodicamente. Com a utilização da tecnologia IoT estes parâmetros podem ser obtidos em tempo quase real e cobrindo uma grande área de amostragem. Hoje, com a produção massiva de sensores e sistemas eletrônico de condicionamento e processamento de sinais, um grande número de sensores está disponível para integração em sistemas de IoT. Para a integração em aplicações de monitoramento em ambientes agressivos como os ambientes de manguezais, estes sensores, além das características de precisão, resolução e sensibilidade, precisam também serem robustos e buscarem uma integração com o ambiente onde estão sendo instalados de maneira a não ressaltarem sua presença.

Yaroshenko (2020), apresenta uma revisão sobre sensores utilizados em monitoramento de parâmetros de qualidade de água em tempo real para controle de poluição. Gomes (2019), desenvolveu em seu trabalho de mestrado um sistema de múltiplos sensores de gases para monitoramento ambiental. Chase, (2010) descreve técnica de fluorometria de ultravioleta para a detecção de contaminação por petróleo. Gull, (2017) descreve em sua dissertação o desenvolvimento de um sensor de baixo custo para monitoramento de fluorescência de clorofila para a aplicação de detecção de stress em plantas causado pela contaminação do solo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sensores estão presentes no nosso dia-a-dia, nas mais várias atividades, nos trazendo informações em tempo real sobre um número imenso de parâmetros. O novo paradigma tecnológico conhecido como Internet da Coisas (*Internet of Thing – IoT*), resulta da possibilidade de todas as “coisas” conectadas, produzindo, processando extraindo conhecimento e através destes conhecimentos produzindo novas informações, serviços e produtos que têm encontrado aplicações na área da indústria, na agricultura, na saúde e nas cidades inteligentes. O potencial da aplicação desta nova onda tecnológica na área de monitoramento ambiental é imensa mas encontra várias restrições para sua utilização como desenvolvimento de sensores específicos de baixo custo e de baixo consumo de energia, que devem ser instalados em locais remotos, agressivos, quase sempre sem infraestrutura de energia, comunicação e segurança.

A partir dessa pesquisa, espera-se obter elementos para desenvolver um sistema de monitoramento de parâmetros físico-químicos que permitam o acompanhamento e avaliação de processos de biorremediação em ambientes impactados por petróleo. Este sistema permitirá a sua utilização no monitoramento de parâmetros ambientais em outras aplicações de pesquisas em ambientes impactados por contaminantes diversos provenientes de resíduos industriais ou urbanos em ambientes ribeirinhos e lacustres, além de manguezais e estuários.

A utilização deste sistema para o monitoramento em tempo real destes parâmetros tanto em laboratório como em campo permitirá uma melhor compreensão da influência dos parâmetros físico químicos avaliados nos processos biotecnológicos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO)/Instituto de Geociências (IGEO)/Universidade Federal da Bahia (UFBA), ao CNPq e Marinha do Brasil pelo fomento ao Projeto “*Rede cooperativa de desenvolvimento de protocolos para avaliação de zonas costeiras impactadas por derramamento de óleo e aplicação de biotecnologias para remediação - Rede REBICOP*”. Também à Fundação de Amparo à Pesquisas do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro com Bolsa de Doutorado para um dos autores.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE et al. A proteção dos ecossistemas de manguezal pela legislação ambiental brasileira. *GEOgraphia* – ano 17, v. 33, p.126 – 153, 2015.
- ANAND, S.; RAMESH, M. V. An IoT Based Disaster Response Solution for Ocean Environment. *ACM International Conference Proceeding Series*, p. 19-24, 2021.
- BORGIA, E The Internet of Things vision: key features, applications and open issues. *Computer Communications*, V. 54, p. 1 – 31, 2014.
- CHASE, C. R.; LYRA G.; GREEN, M. Real-Time monitoring of oil using ultraviolet filter fluorometry, *Sea Technology*, v. 51(10), p. 45-46, 48-49, 2010.
- COLACOVIC, A.; HADZIALIC, M. Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges and open research issues. *Computer Networks*, v. 144, p. 17 – 39, 2018.
- DIOS, J. R. M.; BERNABÉ, A. S.; TORRES-GONZÁLES, A.; OLLERO, A. Combining Unmanned Aerial Systems and Sensor Networks for Earth Observation. *Remote Sensing*, v.9, p.336, 2017. DOI: 10.3390/rs9040336
- GIRI, C. E.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, v. 20, n. 1, p.154-159, 2011.
- GOMES, J.B.A. A Novel IoT-based Plug-and-Play Multi-Gas Sensor for Environmental Monitoring. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica) - INSTITUTO NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, Santa Rita do Sapucaí, 2019.
- GULL, C. J. A Novel low-cost chlorophyll fluorescence sensor for early detection of environmental pollution. Dissertação – Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa, 2017.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA., 2019. Manchas de Óleo Litoral do Nordeste. Acess in: 15/11/19, in <http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>.
- ITOPF. Use of booms in Oil Pollution Response, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/celin/Downloads/TIP\_3\_Use\_of\_Booms\_in\_Oil\_Pollution\_Response.pdf>. Acesso em: 15/11/19.
- JEBRIL, A. H.; SALI, A.; ISMAIL, A.; RASID, M. F. A. Overcoming limitations of LoRa physical layer in image transmission. *Sensors*, v.18, p.3257, 2018.
- MAHRAD B.E. et al. Contribution of Remote Sensing Technologies to a Holistic Coastal and Marine Environmental Management Framework: A Review, *Remote Sensing*, v. 12, p. 2313, 2020. DOI:10.3390/rs12142313.
- MARQUES, G. et al. Internet of Things and enhanced living environments: Measuring and napping air quality using cyber-physical systems and mobile computing Technologies. *Sensors*, v. 20, p. 720, 2020.
- MOREIRA, I. T. A.; OLIVEIRA, O. M. C.; TRIGUIS, J. A.; QUEIROZ, A. F. S.; BARBOSA, R. M.; ANJOS, J. A. S. A.; REYES, C. Y.; SILVA, C. S.; TRINDADE, M. C. L. F.; RIOS, M. C. Evaluation of the effects of metals on biodegradation of total petroleum hydrocarbons. *Microchemical Journal* v.110, p. 215-220, 2013.

MOURA, R.L; Minte-Vera, C.V.; Curado, I.B.; Francini-Filho, RB; Rodrigues, H.D.C.L. Dutra, G.F.; Alves, D.C.; Souto, F.J.B. Challenges and prospects of fisheries co-management under a marine extractive reserve framework in Northeastern Brazil. *Coast. Manag.*, 37 (2009), pp. 617-632.

OLIVEIRA, O.M.C. DE; QUEIROZ, A.F.S.; CERQUEIRA, J.R.; SOARES, S.R.; GARCIA, K.S.; PAVANI FILHO, A.; ROSA, M.L.DA S.; SUZART, C.M.; PINHEIRO, L. DE L. ; MOREIRA, I.T.A. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 1-7, 2020.

ONUMANYI, A. & HANCKE, G.P. Low Power Wide Area Network, Cognitive Radio and the Internet of Things: Potentials for Integration. *Sensors*, p. 1-41, 2020.

ROMÃO, A. L. E.; PAVANI FILHO, A.; ALVES, C. R. Estuário do Rio São Francisco: delineamento do perfil longitudinal e vertical. *Edufal*, p. 73 -90, 2020

SANTHANAKRISHNAN, C. et al. An IOT based system for monitoring environmental and physiological conditions. *Materials Today: Proceedings 2021*, Article in Press.

SCHAEFFER-NOVELLI et al. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64, 2016.

TZIORTZIOTI, C., AMAXILATIS, D., MAVROMMATI, I. and CHATZIGIAMMAKIS, I., IoT sensors in sea water environment: Ahoy! Experiences from a short summer trial. *Electronic notes in theoretical computer science*. v. 434, p.117-130, 2019.

YAROSHENKO, I. et al. Real-Time Water Quality Monitoring with Chemical Sensors, *Sensors*, v. 20, p. 3432, 2020, doi:10.3390/s20123432.