SISTEMA DE SUPERVISÃO DE ÁGUAS FLUVIAIS

Alexandre Magnus Fernandes Guimarães [1], Erick Custódio Vitória[2], Guilherme Henrique Pereira da Silva[3], Ellen Ferreira Moraes Souza[4], Pablo Matheus Duarte Silva[5]

[12345]Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
[1](alexandre.guimaraes@ufrn.br)

Resumo: No que tange a saúde pública, tratar das águas fluviais é essencial para preservar o meio ambiente e garantir água de qualidade. Problemas como poluição, esgoto sem tratamento, descarte de resíduos, fertilizantes e agrotóxicos compromete rios, canais e águas subterrâneas, afetando a vida marinha e o abastecimento humano. Assim, é de vital importância a gestão e controle por meios de tecnologias para manter a integridade e sustentabilidade da utilização fluvial. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de supervisão de dados fluviais com envio de dados a longas distâncias.

Palavras-chave: ESP32; LoRa; monitoramento de rios; Meio ambiente.

INTRODUÇÃO

A poluição, urbanização desenfreada, uso de agrotóxicos, fertilizantes, poluição industrial liberando substâncias químicas tóxicas e resíduos afeta diretamente na qualidade das águas, comprometendo ecossistemas inteiros, afetando diretamente na saúde da população local, além de tais águas já poluídas serem levadas para novos canais, rios e águas subterrâneas, afetando diretamente no habitat de espécies de plantas e animais regionais além das comunidades que dependem (Francener et al., 2011; ANA, 2012).

A qualidade das águas deve ser avaliada por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. O pH da água que indica a acidez ou alcalinidade da mesma. A exigência dissolvida é essencial para a sobrevivência marítima, na sua ausência, acarreta na morte de peixes e outros organismos. A turbidez da água é um indicador da presença de sólidos suspensos, enquanto a temperatura afeta diretamente a vida aquática (COMANA, 2008).

A proteção da qualidade das águas está diretamente ligada às leis ambientais. Essas leis estabelecem limites e padrões para a quantidade de poluentes permitidos nos corpos d'água, bem como regulamentam o tratamento de esgotos e resíduos industriais. Além disso, a conscientização populacional no que tange a conservação dos recursos hídricos é fundamental para a preservação dos rios e a manutenção da sua qualidade. Garantir tal qualidade é essencial para a saúde e o bem-estar das comunidades. A água potável de qualidade é um direito humano básico, utilizada também como atrativos para atividades de recreação e turismo, contribuindo diretamente no desenvolvimento econômico, contudo é evidente que ao decorrer do tempo essas reservas naturais estão ficando cada vez mais escassas, e não irá demorar muito para que as atuais reservas se tornem também ineficientes para utilização humana (NEGREIROS, 2024).

Além de vital para o ser humano, a água se torna vital também para toda vida animal, isso à torna diretamente ligada à segurança alimentar. Também estando diretamente ligada à economia tendo em vista que muitas comunidades costeiras dependem dos rios para a pesca.

Com todos esses tópicos, foi pensado em criar algo simples, mas que crucial para a integridade humana no mundo. Monitorar a qualidade das águas fluviais exige diversas técnicas de monitoramento remoto. Uma delas é a utilização de sensores remotos, satélites, aeronaves e drones equipados com sensores específicos que permitem a obtenção de imagens e dados sobre a qualidade geral da água em amplas áreas. Tais sensores podem medir a temperatura da superfície da água, a turbidez, clorofila e outros parâmetros relevantes (Souza Filho, 2018).

Os sensores in-situ, instalados diretamente nas águas, também são amplamente utilizados para o monitoramento contínuo dos parâmetros da água. Esses dispositivos podem medir o pH, a condutividade

elétrica, a concentração de oxigênio dissolvido, além de coleta amostrar para análise laboratorial (Mastelini, 2023).

Os dados coletados pelos sensores são transmitidos remotamente para estações de monitoramento, permitindo um acompanhamento em tempo real das condições das águas.

Outras ferramentas utilizadas para o monitoramento fluvial são os sistemas de informação geográfica (SIG). Esses SIGs integram dados espaciais, como a localização dos rios e seus respectivos afluentes, com informações sobre a qualidade da água e a utilização da terra. Isso pode ajudar os pesquisadores na identificação de áreas críticas, ajudando a tomar decisões embasadas diretamente em dados precisos e na análise de tendências (Saari et al., 2018).

Com o auxílio da inteligência artificial, que pode utilizar algoritmos sofisticados para processar grandes volumes de dados, identificar padrões determinísticos e tendências, além de auxiliar na detecção de eventos de poluição e degradação da qualidade da água, utilizando técnicas avançadas na análise de tais dados, podem ajudar em futuras pesquisas, na criação de novos métodos ou criação de novas tecnologias que ajudam agricultores a criarem fertilizantes e agrotóxicos não mal mais extremamente prejudiciais à saúde humana, animal, a vida marinha, as plantações melhorando diretamente em todo um sistema local.

Essas técnicas de monitoramento remoto permitem um acompanhamento de larga escala, fornecendo informações precisas sobre a condição das águas (COMANA, 2020). Possibilitando na implementação de ações corretivas, a tomada de decisões embasadas em dados científicos e a adoção de medidas de conservação e preservação dos recursos hídricos.

Para o monitoramento a longas distâncias por meio de uma estação fluviométrica construída a partir de componentes de baixo custo, apesar de ser difícil, é o que propõe este trabalho. Sensores instalados em rios ou outros locais que vazão fluvial em que haja uma intenção de obter esses diversos dados, serão acoplados em uma plataforma microcontrolada inteligente capaz de não somente de captar os sinais com os parâmetros do rio, como também fazer um primeiro processamento dessas informações e as disponibilizá-las em um computador ou smartphone. Porém, por serem regiões de difícil acesso, a proposta contempla a transmissão dos dados para um local mais adequado, como um laboratório, por exemplo. Ainda, o sistema completo permitirá o tratamento dos dados por meio de interfaces e gráficos desenvolvidos para este propósito.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais que compõem a aplicação do projeto estão descritos na tabela 1, eles são os materiais utilizados para a criação de estações fluviométricas, que serão responsáveis pela coleta de dados em tempo real, registrando as informações das condições e características da água no local e pela criação da central que receberá esses dados coletados no campo, que faz a comunicação com o aplicativo.

Tabela 1. Equipamentos eletrônicos utilizados

Material	Função
Módulos LoRa	Realiza a comunicação bidirecional da estação fluviométricas com a central
ESP32	Cérebro por trás do projeto, responsável pela análise e processamento dos dados coletados pelos sensores, os organizando para que o LoRa faça a transmissão.
Arduino Uno	Componente auxiliar do ESP32 para o processamento de dados
Sensor TDS	Analisa a quantidade de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água em tempo integral.
Sensor de fluxo	Analisa o fluxo da água em tempo integral.
Sensor de turbidez	Analisa a turbidez da água em tempo integral.
Sensor de temperatura	Analisa a temperatura da água em tempo integral.

Método de comunicação e transmissão de dados: o uso do protocolo de rede do LoRa será o responsável pela comunicação, de forma remota e bidirecional, o que permite o envio de dados da central para o local analisado e também o recebimento dos dados dos sensores. A escolha do LoRa para este caso ocorre devido ao seu baixo consumo de energia, sua

capacidade de penetração de sinal e o seu alcance. A figura 1 abaixo mostra o LoRa utilizado no projeto.

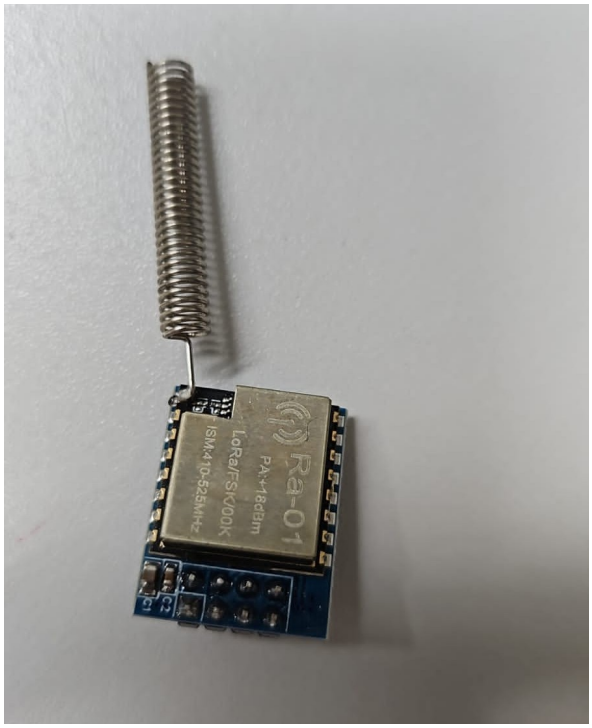


Figura 1. Módulo transceptor sem fio LoRa Ra-01.

Para o método de processamento de sinal, será utilizado o ESP32 como principal ferramenta, e o Arduino Uno como um processador auxiliar. Para a apresentação e consulta dos dados coletados, será realizado o desenvolvimento de um aplicativo para Windows e Android, com o objetivo de receber e apresentar os dados da qualidade da água. O aplicativo será integrado a um software exclusivo criado para este projeto, que ficará responsável por identificar padrões de comprometimento dos rios e detectar eventos anormais, como por exemplo as contaminações da água por resíduos que alterem a sua turbidez ou enchentes devido a chuvas ou desabamentos. As figura 2 e 3 a seguir, apresentam o protótipo do aplicativo feito através do *framework* bootstrap, que opera em conjunto com as linguagens fundamentais de desenvolvimento web: HTML para a estruturação dos conteúdos, CSS para a estilização visual, e JavaScript para adicionar dinamicidade às telas. Devido a formatação do documento em duas colunas, a exibição da interface do aplicativo foi dividida em duas partes, para que se tenha uma melhor clareza visual.

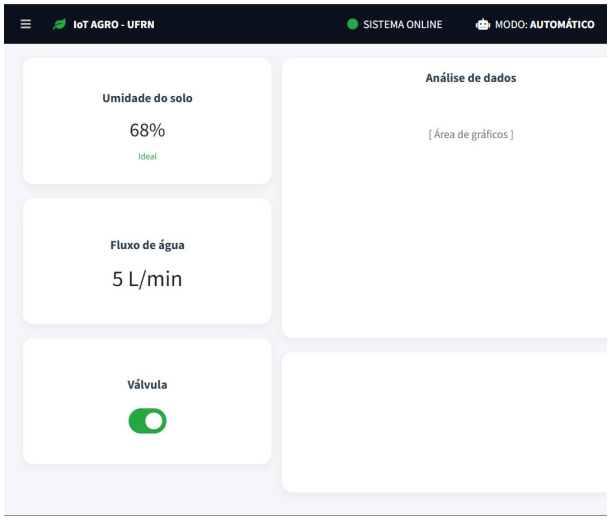


Figura 2. Primeira parte da tela do aplicativo.

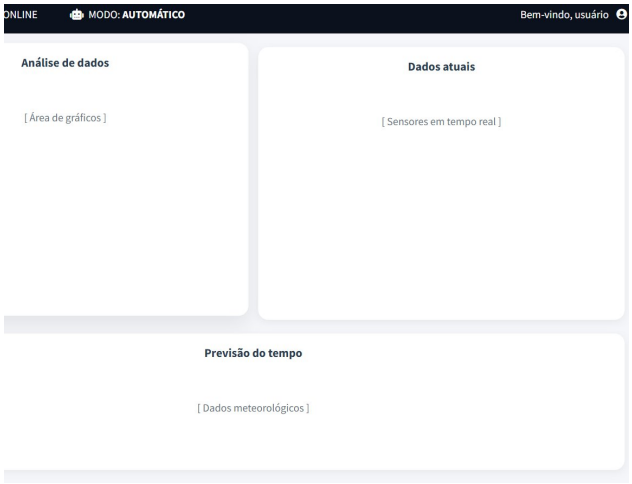


Figura 3. Segunda parte da tela do aplicativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estações fluviométricas desempenham um papel fundamental no monitoramento hidrológico, permitindo o acompanhamento contínuo das condições dos rios e fornecendo dados importantes para a gestão dos recursos hídricos e preservação ambiental. Com o avanço das tecnologias de comunicação sem fio de longo alcance, a utilização do LoRa (Low Power Wide Area Network) se tornou uma alternativa eficiente para a transmissão remota de dados em sistemas de monitoramento fluvial (Cottica e Laynez, 2019).

Essas estações são equipadas com instrumentos de medição e sensores que são responsáveis pela coleta de dados importantes, tais como o nível de água, a temperatura, a turbidez e a condutividade elétrica, possibilitando a realização da análise da qualidade da água e do comportamento hidrológico ao longo do

tempo (Simas e Faccin, 2020). As informações coletadas são enviadas para uma central de monitoramento por meio das redes LoRa, que se destaca pelo seu baixo consumo de energia, seu longo alcance e por ter uma comunicação estável em ambientes com elevados níveis de interferência (Devalal e Karthikeyan, 2018; Córdula, 2025).

A tecnologia LoRa opera em frequências licenciadas e apresenta uma capacidade elevada quando se fala de cobertura e penetração de sinal, características que favorecem sua aplicação em pontos de difícil acesso, como em regiões ribeirinhas. Além disso, por ela ter uma comunicação "estrela", desde que se esteja na mesma frequência de operação, a transmissão de uma mensagem chega em todos os nós receptores distantes, sem precisar de intermediários, o que acaba reduzindo os custos de implantação e manutenção, em adição a diminuição dos desafios logísticos relacionados à instalação do sistema (Augustin el al., 2016; Santos et al., 2016; Córdula, 2025).

Para garantir maior confiabilidade na transmissão dos dados, o LoRa emprega a modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS), técnica que utiliza sinais com frequência variável ao longo do tempo. Essa modulação aumenta a resistência a interferências e melhora a estabilidade da comunicação, mesmo em ambientes com ruídos e obstáculos físicos (Augustin et al., 2016). Outra vantagem importante da tecnologia é o baixo consumo energético, proporcionando maior autonomia às estações de monitoramento e permitindo a coleta contínua de dados por longos períodos (Bor et al., 2016).

A utilização de microcontroladores em conjunto com a tecnologia LoRa proporciona uma solução eficiente para a aquisição, processamento e transmissão de dados em estações fluviométricas. Nesse sistema, os microcontroladores atuam como a unidade central de processamento, sendo responsáveis pela coleta dos dados provenientes dos sensores, tratamento das informações e preparação dos dados para transmissão. Esses componentes recebem os sinais elétricos dos sensores instalados na estação, convertendo as grandezas físicas analógicas em valores digitais por meio de conversores analógico-digitais (ADCs) integrados à unidade de processamento. Após essa conversão, o microcontrolador realiza localmente filtragens e calibrações matemáticas essenciais para garantir a precisão dos dados. Como ele não possui um alto poder computacional, normalmente é usada uma memória secundária para manter os registros de dados e só depois as informações são transmitidas (Santos et al., 2016).

Essa transmissão ocorre através de módulos LoRa integrados ao sistema, responsáveis pelo envio eficiente e confiável das informações para um gateway LoRa. Esse gateway também adota um microcontrolador dedicado para interceptar as ondas de rádio, realizar a decodificação dos pacotes e gerenciar o encaminhamento dos dados recebidos para os sistemas de armazenamento ou bancos de dados. A integração entre microcontroladores e tecnologia LoRa apresenta diversas vantagens para aplicações de monitoramento ambiental, sendo elas a coleta contínua de dados em tempo real, a comunicação confiável em longas distâncias e a flexibilidade para implementação de algoritmos específicos conforme as necessidades de cada estação fluviométrica (Devalal e Karthikeyan, 2018; Santos et al., 2016; Augustin et al., 2016). A figura 4 apresenta o sistema de transmissão e coleta de dados, posicionado no local a ser analisado.

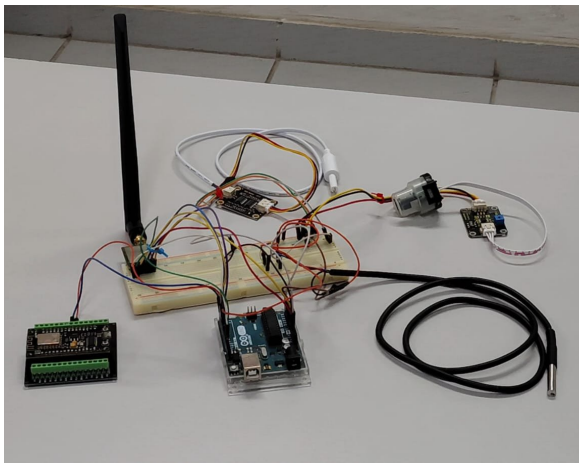


Figura 4. Estação de coleta.

A figura 5 é a base para onde os dados serão enviados da estação de coleta, posteriormente lançados em uma plataforma de análise.

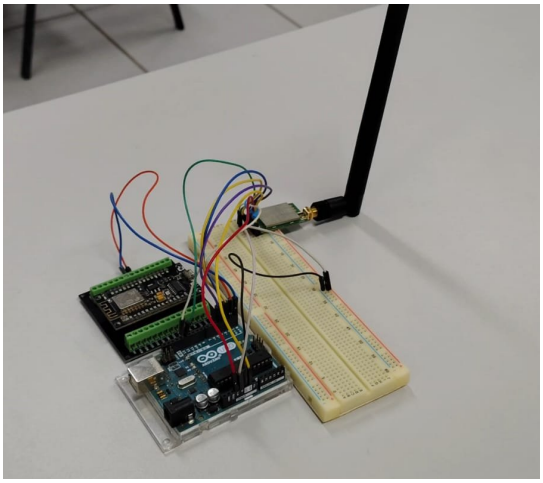


Figura 5. Estação de recepção de dados.

Essa arquitetura de comunicação permite que os dados coletados pelas estações fluviométricas sejam armazenados e disponibilizados para sistemas de supervisão e monitoramento em tempo real. Nesse contexto, o desenvolvimento de um aplicativo dedicado à visualização e gerenciamento dessas informações torna-se essencial para facilitar o acesso aos dados coletados, permitindo o acompanhamento contínuo das condições dos rios por diferentes usuários e instituições de pesquisa. A concepção do aplicativo envolve a integração com um banco de dados responsável pelo armazenamento das informações coletadas pelas estações fluviométricas. Esses dados podem incluir parâmetros como nível da água, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, pH e outros indicadores relevantes (Masteline, 2023).

Por meio do aplicativo, os usuários poderão acessar as informações coletadas em tempo real. Dessa forma, a interface precisa ser de fácil compreensão, permitindo a visualização dos dados, a realização de pesquisas e o acesso a relatórios que contenham análises sobre as condições dos rios. O sistema também poderá contar com funcionalidades adicionais, como alertas e notificações para que os usuários possam ser informados automaticamente quando determinados parâmetros atingirem níveis críticos ou quando ocorrerem enchentes e contaminações. Será importante também a visualização de dados históricos para o acompanhamento da evolução das condições do corpo hídrico através de gráficos para facilitar a interpretação visual dos registros coletados.

Para garantir a precisão e a confiabilidade das informações, o aplicativo deverá estar também integrado às estações fluviométricas. Além disso, a segurança dos dados deverá ser considerada durante o desenvolvimento do sistema, utilizando mecanismos de autenticação, criptografia e armazenamento seguro para evitar acessos não autorizados às informações coletadas.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o sistema proposto trata-se de uma solução tecnológica de baixo custo, atualmente viável e eficaz para o monitoramento em tempo integral dos rios. Os LoRa foram usados como meio alternativo para os sistemas atuais, como uma forma menos burocrática e mais acessível, entregando um sistema de longo alcance e seguro para a transmissão de dados em áreas remotas.

Além de possibilitar diretamente a melhora do ambiente, traz a possibilidade de avanços nas pesquisas realizadas pelo Departamento de Geografia e pela Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN. O projeto ressalta a relevância da integração interdisciplinar, abordando áreas da engenharia, meio ambiente e tecnologias de forma exemplar.

Como resultado disso, possibilita-se prever a utilização de IoT (internet das coisas) para a migração de dados decodificados para a plataforma da nuvem e elaboração do aplicativo, trazendo mais acesso e visibilidade para a visualização das informações coletadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) pelo suporte institucional, aos professores dos cursos de engenharia que veem nos ensinado a partir do do primeiro semestre até o presente momento e, especialmente, ao Laboratório de Eletrotécnica da Escola de Ciências e Tecnologia (ECT), cuja infraestrutura física e apoio técnico foram essenciais para a realização das reuniões, testes de equipamentos e para o êxito experimental desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Estudos Hidrogeológicos para a Orientação do Manejo das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Natal. Brasília: ANA, 2012. 284 p. (Volume 1 – Apêndices). Disponível em: < fecb8f42a035> Acesso em: 22 de set. 2020.

AUGUSTIN, Aloÿs et al. A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. Sensors, Basel, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016. .

BOR, M.; VIDLER, J. E.; ROEDIG, U. (2016) LoRa for the Internet of Things. In: EWSN '16 Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks. Junction Publishing, AUT, pp. 361-366. ISBN 9780994988607.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasil, 18 mar. 2020. p. 01-27.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

CÓRDULA, Márcio Miranda. Desenvolvimento e implementação de um sistema integrado de monitoramento e transmissão de dados para redes de distribuição e reservatórios de água utilizando IoT e LoRa. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

COTTICA, A.; LAYNEZ, V. H. Sistema residencial de monitoramento de água baseado em tecnologia LoRa™. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

DAMASCENO, M. B.; SOUZA, R. F.; DINIZ FILHO, J. B.; CASTRO, V. L. L. Caracterização hidroquímica de águas superficiais dos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Nordeste do Brasil. Pesquisas Em Geociências, 2021. 48(1), e102566.

DEVALAL, S.; KARTHIKEYAN, A. LoRa Technology - An Overview, 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), Coimbatore, India, 2018, pp. 284-290, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474715.

FRANCENER, S. F.; ANDRADE, L. R.; MOREIRA, J. P. P. C.; NUNES, M. L. A.; GOMES, J. B.; SANTOS, L. R. et al. Avaliação do índice de balneabilidade em uma área de lazer no município de Ji-Paraná – Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Alagoas. Anais. São Paulo: ABRH, 2011. p. 1-9.

JUSTINO, F.; TROLEIS, A. L. Análise dos níveis de nitrato nas águas urbanas de São Gonçalo do Amarante/RN entre 2016 e 2019, ISSN: 21778396, 2022.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, 325p. ISBN 9788578792824. Disponível em: SciELO Books .

LOPES, B.; TROLEIS, A. L. Potencialidades e fragilidades da estrutura hídrica do territory do Rio Grande Do Norte, ISSN: 23179430, 2022.

MACEDO, Y. M.; TROLEIS, A. L.; ALMEIDA, L. Q. Risco de Desabastecimento hídrico na região Seridó, Rio Grande do Norte, Brasil, ISSN: 19842295, 2021.

MACEDO, Y. M.; TROLEIS, A. L.; MACIEL, A. B. C.; ALMEIDA L. Q. Risco de desabastecimento hídrico na região Mato Grande, Rio Grande Do Norte, Brasil, ISSN: 19825528, 2019.

MASTELINI, V. Desenvolvimento de sistema especialista para análise da qualidade da água para piscicultura de tilápias em tanque-rede: uma aplicação da lógica fuzzy, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2023.

MOURA, D. F. S.; TROLEIS, A. L.; LOPES, B. S. Análise da configuração territorial do sistema de esgotamento sanitário e dos casos de diarreia no bairro Pajuçara, Natal/RN, ISSN: 19801726, 2020.

NEGREIROS, M. V. de, & SOLDERA, B. C. (2024). Água: desafios climáticos, impactos e a emergência como recurso estratégico. Holos Environment, 24(1), 28–45.

SAARI, M.; BAHARUDIN, A. M. B.; SILLBERG P.; HYRYNSALMI, S.; YAN, W. LoRa — A survey of recent research trends, 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2018, pp. 0872-0877, doi: 10.23919/MIPRO.2018.8400161.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. In: VALE, R.; KAMIENSKI, C. (Org.). Minicursos do XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2016). Porto Alegre: SBC, 2016. p. 1-50.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 2, p. 163-172, 2012. .

SIMAS, G. W.; FACCHIN, M. P. Implementação de um monitoramento remoto com Radio Lora e MODBUS TCP/IP. Engenharia Elétrica-Pedra Branca, 2020.

SOUZA FILHO, E. A. Diagnóstico da qualidade das águas do Igarapé do Mindu e criação de protótipo de aplicativo para disponibilização de dados em Manaus-AM. Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade do Estado do Amazonas, 2018.