

TRABALHO DE PESQUISA

TP546 - Internet das Coisas e Redes Veiculadas

Nome: Agiana Janira Pena Marques da Silva

Matrícula nº 978

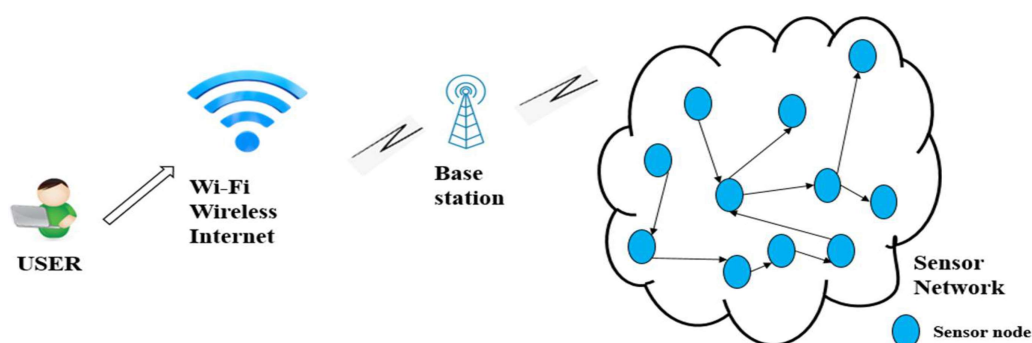
Tema: **Aplicação de Redes de Sensores Sem Fio no Meio Ambiente**

Resumo

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF/WSN) transformaram o monitoramento ambiental, permitindo coleta contínua, em larga escala e em tempo real de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Este trabalho revisa aplicações recentes em áreas-chave (agricultura de precisão, qualidade do ar e da água, monitoramento de solo e florestal), descreve arquiteturas e tecnologias típicas, discute desafios práticos (energia, confiabilidade, conectividade, processamento de dados) e aponta direções futuras como edge computing, inteligência artificial embarcada e sensores energeticamente autônomos. Vários artigos recentes e revisões especializadas são referenciados para embasar as tendências apresentadas.

1. Introdução

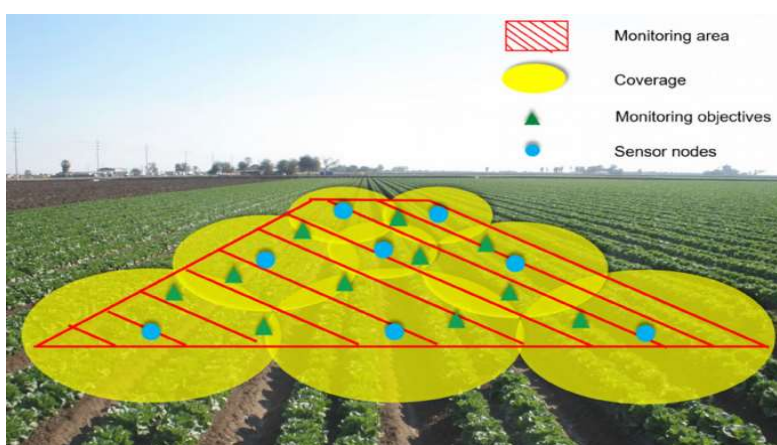
Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são grupos de pequenos dispositivos interconectados, capazes de medir parâmetros ambientais, processar localmente os dados e transmiti-los sem necessidade de cabeamento. Elas são essenciais para monitoramento ambiental em tempo real, cobrindo áreas muito extensas e de difícil acesso, como florestas, rios e cidades.



2. Principais aplicações ambientais

2.1 Agricultura de precisão

Na agricultura, RSSF permitem monitorar o solo (umidade volumétrica, condutividade elétrica, temperatura), microclima, e até indicadores fisiológicos de plantas para otimizar a irrigação, fertilização e manejo de pragas. Estudos e revisões recentes mostram ganho de eficiência hídrica e produção quando sistemas de RSSF são integrados com modelos preditivos e atuadores (sistemas de irrigação). Além disso, avanços em sensores enterrados (Wireless Underground Sensor Networks — WUSNs) possibilitam medições diretas no perfil do solo durante longos períodos. [2] [6]



2.2 Monitoramento de água (rios, reservatórios e praças hídricas)

RSSF são empregadas para medir parâmetros como temperatura, pH, turbidez, ORP e até indicadores microbiológicos via modelos preditivos. Trabalhos recentes integram RSSF com técnicas de Machine Learning para estimar concentrações de contaminantes difíceis de medir continuamente (por exemplo, indicadores bacteriológicos), usando sensores indiretos e predição. Isso é vital em áreas rurais e sistemas de abastecimento onde o monitoramento contínuo é caro com sensores convencionais. [3]

2.3 Florestas, biodiversidade e monitoramento de habitats

Nessas aplicações, além de medidas ambientais, os nós sensoriais podem incluir microfones, câmeras ou detectores acústicos para monitoramento de fauna, detecção de incêndios florestais (por temperatura, fumaça e análises espectrais) e mapeamento de condições microclimáticas. RSSF ajudam a entender padrões espaciais de habitat, stress hídrico em vegetação, e são

usadas em projetos de conservação com baixo impacto. [1]

3. Arquiteturas, protocolos e tecnologias usadas

3.1 Topologias e camadas

As arquiteturas mais comuns incluem topologias em malha (mesh), árvore e estrela; a escolha depende da cobertura, densidade e disponibilidade de gateway. Em áreas vastas e remotas, usam-se gateways com conectividade celular, LoRaWAN ou redes satelitais para retorno de dados. Internamente, protocolos de camada de enlace como IEEE 802.15.4 (Zigbee), BLE, Wi-Fi (em aplicações locais) e LoRa/LoRaWAN (long range, baixo consumo) dominam. [1]

3.2 Sensores e módulos típicos

Nós de sensores atuais combinam microcontroladores (ex.: ESP32, STM32), módulos de rádio (LoRa, Zigbee, NB-IoT) e sensores analógicos/digitais para parâmetros específicos. Integração com painéis solares, baterias de longa duração e técnicas de duty-cycling (nó dormindo e acordando periodicamente) é prática comum para estender vida útil. Pesquisas recentes descrevem sensores enterrados para monitoramento de solo e módulos com múltiplos sensores co-localizados para reduzir custo por ponto de medição. [6] [7]

3.3 Processamento de dados: borda vs. nuvem

Tendência crescente: mover parte do processamento para a borda (edge computing) para reduzir latência, volume de dados transmitidos e consumo de energia — por exemplo, agregação, compressão, detecção de anomalias local e inferência ML leve embarcada. Essa arquitetura melhora resiliência e permite respostas em tempo real (atuadores). [10]

4. Estudos de caso e implementações recentes

4.1 Redes de sensores para medição de partículas (PM) — estudo 2024

Um trabalho de 2024 apresentou um sistema de RSSF de baixo custo dedicado à medição de material particulado (PM), descrevendo projeto de hardware, validação e geração de mapas de qualidade do ar. O estudo demonstrou viabilidade técnica e identificou a necessidade de calibração contínua e estratégias para correção que deriva dos sensores de baixo custo. [4]

4.2 WUSN para monitoramento de solo com aprendizagem profunda —

estudo longitudinal

Um projeto com 23 nós enterrados operando por meses forneceu dados de conteúdo de água no solo, permitindo treinar modelos deep learning que usam RSSI (Indicador da Intensidade do Sinal Recebido), temperatura e variáveis meteorológicas para estimar conteúdo hídrico com boa precisão. Isso mostra como recursos de rádio podem ser usados além da comunicação (i.e., como proxies para propriedades do solo). [6]

4.3 Monitoramento inteligente de água com ML — MDPI Sensors 2024

Um trabalho recente integrou RSSF IoT com algoritmos de ML para prever concentrações de "E. coli" (bactéria *Escherichia coli*) em corpos d'água, reduzindo a necessidade de amostragens laboratoriais frequentes. O estudo ilustra o uso de sensores indiretos e modelos preditivos avanços práticos em segurança hídrica. [3]

5. Desafios e soluções propostas

5.1 Energia e autonomia

Problema: nós de sensores em campo frequentemente dependem de baterias; substituir baterias em centenas de nós é oneroso.

Soluções: duty-cycling, roteamento energeticamente eficiente, energias alternativas (solar, micro-geração termoelétrica), e estratégias de balanceamento da carga entre nós. Estudos recentes propõem protocolos e modelos de otimização para maximizar vida de rede. [5]

5.2 Confiabilidade e qualidade dos dados

Problema: sensores de baixo custo têm deriva, ruído e sensibilidade ambiental que afetam acurácia.

Soluções: calibração cruzada com estações de referência, fusão de sensores (multimodal), validação estatística e uso de ML para correção e imputação de dados. Trabalhos recentes mostram pipeline integrado (pré-processamento, detecção de falhas, correção) para garantir dados utilizáveis. [8]

5.3 Conectividade em áreas remotas

Redes de longo alcance (LoRa, NB-IoT, satélite) e arquiteturas híbridas (nós locais com gateway multi-hop para um concentrador com uplink celular) têm sido adotadas; entretanto, falta de cobertura e custo permanecem como barreiras em regiões muito remotas. Projetos usam também roteamento

oportunista e UAVs (drones) para coleta periódica de dados quando a conectividade em tempo real não é necessária. [9]

6. Tendências e direções futuras

- Integração com IA e análise preditiva: uso de modelos ML/Deep Learning para estimativa de variáveis complexas (ex.: contaminação microbiológica) e para detecção precoce de eventos (incêndio, vazamentos). [3]
- Edge/ fog computing: maior processamento local para reduzir tráfego e permitir respostas em tempo real. [10]
- Sensores energeticamente autônomos: pesquisa em harvesting (solar, vibração, RF) e sensores biodegradáveis para reduzir impacto ambiental e manutenção. Estudos recentes e iniciativas industriais apontam para essa direção. [1]
- Padronização e interoperabilidade: com multiplicidade de protocolos e plataformas, standards e frameworks abertos facilitarão integração e adoção. [1]

7. Conclusão

Redes de Sensores Sem Fio são hoje uma ferramenta madura e em rápida evolução para o monitoramento ambiental. Elas possibilitam coleta de dados em alta resolução espacial e temporal e, quando combinadas com IoT, edge computing e inteligência artificial, oferecem percepções cruciais para agricultura sustentável, gestão de recursos hídricos, qualidade do ar e conservação. Por tanto, os desafios específicos como a energia, qualidade dos sensores e conectividade em áreas remotas, continuam ativos, porém, há soluções promissoras validadas por estudos recentes. A tendência para os próximos anos, é de a integração entre sensores autônomos, análise local e modelos preditivos se tornarem os sistemas ambientais mais eficientes, escaláveis e acessíveis.

Referências

[1] Dunfan Ye, Daoli Gong e Wei Wang, "Aplicação de redes de sensores sem fio no monitoramento ambiental", 2009 2ª Conferência Internacional sobre Eletrônica de Potência e Sistema de Transporte Inteligente (PEITS), Shenzhen, 2009, pp. 205-208, doi: 10.1109/PEITS.2009.5407035. Palavras-chave: {Redes de sensores sem fio; Velocidade do vento; Eletrônica de baixa potência; Monitoramento de condições; Temperatura; Humidade; Gestão ambiental; Hardware; Aquisição de dados; Processamento de dados; redes de sensores sem

fio; monitoramento ambiental; estrutura de hardware do nó; aquisição de dados},

[2] P. Saha, V. Kumar, S. Kathuria, A. Gehlot, V. Pachouri e A. S. Duggal, "Agricultura de Precisão Usando Internet das Coisas e Redes de Sensores Sem Fio", Conferência Internacional sobre Tecnologias Disruptivas (ICDT) de 2023, Greater Noida, Índia, 2023, pp. 519-522, doi: 10.1109/ICDT57929.2023.10150678. palavras-chave: {Produtividade; Redes de sensores sem fio; Irrigação; Custos; Culturas; Solo; Internet das Coisas; Agricultura; Agricultura de Precisão (PA); Internet das Coisas (IoT); Redes de sensores sem fio (RSSF); sensores},

[3] T. P. Rani, S. S. S, T. P e R. Rathika, "Monitoramento inteligente da qualidade da água baseado em IoT: avaliação em tempo real e análise preditiva com sensores avançados", Conferência Internacional de 2024 sobre Integração de Tecnologias Emergentes para o Mundo Digital (ICIETDW), Chennai, Índia, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIETDW61607.2024.10939389. palavras-chave: {Sensores de temperatura; Medição de temperatura; Comunicação sem fio; Análise de dados; Turbidez; Condutividade; Sistemas de tempo real; Análise preditiva; Monitorização; Recursos hídricos; Esp32; Sensor de pH; Sensor de temperatura; Monitoramento da Qualidade da Água; Análise de dados em tempo real},

[4] Designing a low-cost wireless sensor network for particulate matter monitoring (2024) — estudo aplicado em qualidade do ar.

[5] G. Samara, A. Almomani, M. Alauthman e M. Alkasassbeh, "Protocolos de Redes de Sensores Sem Fio de Eficiência Energética: uma Pesquisa", Conferência Internacional de 2022 sobre Tendências Emergentes em Aplicações de Computação e Engenharia (ETCEA), Karak, Jordânia, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCEA57049.2022.10009675. Palavras-chave: {Redes de sensores sem fio; Consumo de energia; Demanda de energia; Algoritmos de clusterização; Roteamento; Pesquisa de mercado; Eficiência energética; Eficiência energética; WSN; Roteamento; WSN agrupada; Pesquisa WSN},

[6] G. Liu, "Coleta de dados em redes de sensores subterrâneos alimentados por MI assistidos por MI: direções, avanços recentes e desafios", na IEEE Communications Magazine, vol. 59, nº 4, pp. 132-138, abril de 2021, doi: 10.1109/MCOM.001.2000921.},

[7] MDPI Sustainability (2022) – descreve uso de sensores DHT11, LDR, MQ-2, MQ-7 em rede Arduino + XBee.

[8] https://www.ijmse.org/Volume15/Issue3/paper5_15_3.pdf?utm_source=chatgpt.com

[9] Axiotidis, C., Konstantopoulou, E. & Sklavos, N. Uma plataforma IoT de

rede de sensores sem fio para monitoramento de consumo e qualidade de água potável. Discov Appl Sci 7, 15 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06384-1>

[10] Eng. Proc., EISSN 2673-4591, Publicado por MDPI, https://www.mdpi.com/2673-4591/82/1/90?utm_source=chatgpt.com

Github: <https://github.com/AgianaSilva/Agiana-978>