

Estudos de Aplicações Práticas de Redes de Sensores Sem Fio

Rafaella Laureano Dias

1 Introdução

As Redes de Sensores Sem Fio (RSS ou WSNs - Wireless Sensor Networks) representam um avanço significativo nas tecnologias de monitoramento e comunicação distribuída, sendo compostas por um conjunto de sensores inteligentes, capazes de captar dados ambientais ou específicos de fenômenos físicos, químicos ou biológicos, processá-los localmente e transmiti-los por canais de comunicação sem fio para unidades centrais de análise [1, 2]. Essa estrutura distribuída permite a coleta contínua e em tempo real de informações em áreas amplas e de difícil acesso, sem a necessidade de cabeamento complexo, o que reduz custos e aumenta a flexibilidade da instalação.

As RSS são geralmente compostas por muitos nós sensores (sensores com capacidade computacional reduzida e alimentação limitada, geralmente via bateria), que interagem de forma colaborativa, formando uma rede que pode ser auto-organizável e adaptativa conforme as condições ambientais e topológicas [3]. A comunicação entre os nós pode ocorrer via diversos protocolos sem fio, dentre os quais se destacam WiFi, ZigBee, Bluetooth Low Energy e LoRaWAN, com escolhas definidas pelas necessidades de alcance, consumo energético e largura de banda [4].

A importância crescente das RSS está associada à sua aplicabilidade em múltiplos domínios: automação residencial, monitoramento ambiental, agricultura de precisão, saúde, indústria 4.0 e sistemas veiculares inteligentes. Na agricultura, por exemplo, as RSS viabilizam o monitoramento preciso de parâmetros como umidade, temperatura e níveis de irrigação, promovendo economia de recursos e incremento na produtividade [5, 6]. No contexto urbano, a sensorização permite o acompanhamento da qualidade do ar, temperatura e umidade, contribuindo para o planejamento ambiental e melhor qualidade de vida [7]. Em veículos, a integração de sensores via RSS proporciona diagnósticos em tempo real, aumento da segurança e eficiência operacional, essencial para competições e indústria automotiva [8, 9].

Entretanto, uma das principais dificuldades técnicas nesse campo é o gerenciamento do consumo energético, visto que os nós sensores geralmente operam com baterias limitadas. Pesquisas contínuas são direcionadas a estratégias de otimização energética, incluindo modos de coleta de dados (periódico, contínuo e reativo), redução da transmissão via agregação e compressão de dados e emprego de energias renováveis, como a solar [10].

Este trabalho aborda o desenvolvimento prático de redes de sensores sem fio para duas aplicações distintas: a avaliação da qualidade ambiental em zona urbana da cidade de São Luís-MA utilizando sensores integrados a microcontroladores ESP8266, e o monitoramento de variáveis de desempenho em veículos de competição do projeto BAJA SAE, com comunicação via WiFi LoRa 32 e Arduino Mega. A análise destas aplicações demonstra a relevância, a versatilidade e os desafios tecnicamente superados na implantação dessas redes, consolidando o papel das RSS na transformação da Internet das Coisas (IoT) e da automação inteligente em diferentes setores da sociedade.

2 Implementação da Rede e Sensores Utilizados

2.1 Rede para Monitoramento Ambiental Urbano

2.1.1 Arquitetura da Rede

O sistema foi desenvolvido no laboratório de Aquisição e Processamento de Sinais da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), usando uma rede com topologia estrela. Ela compreende vários nós sensores controlados por microcontroladores ESP8266 (modelo ESP-12 NodeMCU), integrados com módulo WiFi IEEE 802.11, permitindo que cada nó funcione como cliente que envia dados via HTTP para um servidor [7].

Cada nó é energeticamente autônomo, utilizando bateria recarregável de 3,7V 3400mAh, suplementada por painel solar de 2000mAh para garantir recarga contínua.

2.1.2 Sensores

Os nós sensores foram equipados com os seguintes dispositivos:

- **DHT22:** Sensor digital para medição de temperatura e umidade do ar, com faixa de -40 a 80 °C e precisão para 0,1% de umidade.
- **DS18B20:** Sensor digital para temperatura do solo, com precisão de $\pm 0,5$ °C, adequado para ambientes úmidos ou secos.

- **MQ-135:** Sensor de gás para detectar variações na concentração de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases tóxicos.

2.1.3 Processamento e Comunicação

Os dados coletados são armazenados temporariamente na memória do ESP8266 e enviados a cada minuto para um servidor rodando uma API simples em PHP, que armazena os dados em banco MySQL. Um aplicativo Web em PHP e HTML exibe essas informações em tempo real para análises e decisões operacionais.

2.1.4 Resultados Obtidos

Três nós sensores foram implantados em pontos diversos: exterior do campus Paulo VI da UEMA, centro da cidade e litoral. Os dados indicaram:

- Diferença entre temperatura do solo e do ar do mesmo nó de 0,5 °C.
- Variação de temperatura média horária de até 5% entre as regiões monitoradas, com maior diferença (2 °C) durante o período da manhã.
- Umidade relativa apresentou diferença máxima de 1% entre litoral e centro urbano, com desvio padrão aproximado de 0,9.
- Concentração de CO₂ muito semelhante nos locais, com diferença média apenas de 0,43%.
- Custo estimado da rede é cerca de 20% do custo de um monitor meteorológico eletrônico comercial.

Esses resultados confirmam a precisão e estabilidade dos dados coletados, demonstrando a viabilidade técnica e financeira da solução.

2.2 Rede para Veículos de Competição BAJA SAE

2.2.1 Contexto e Objetivo

Voltado para a competição acadêmica BAJA SAE, o sistema monitora parâmetros críticos do veículo em tempo real para garantir segurança operacional e desempenho [7].

2.2.2 Estrutura do Sistema

A rede integra sensores ao microcontrolador Arduino Mega 2560, acoplado a módulo WiFi LoRa 32, responsável por comunicação sem fio de longo alcance (acima de 5km em condições ideais).

A transmissão dos dados ocorre via protocolo serial UART, com processamento via SPI para modulação LoRa (chip SX1276). O sistema supervisorio exibe informações para o piloto em um painel de 128x64 pixels.

2.2.3 Sensores e Funções

- **Sensor indutivo NPN:** Mede a velocidade do veículo através da detecção de materiais metálicos, tolerante a poeira, lama e água.
- **Sensor capacitivo XKC Y25 T12V:** Monitora o nível de combustível, com sistema visual de alerta para reabastecimento (sensibilidade ajustada para 300 ml como mínimo).
- **Sensores de temperatura MT38 (cárter) e DS18B20 (transmissão CVT):** Monitoram possíveis sobreaquecimentos que poderiam prejudicar os sistemas.
- **Sensor de efeito Hall:** Avalia a rotação do motor, computando variações magnéticas em campos móveis.

2.2.4 Desafios e Soluções

Irregularidades da pista e curvas interferiam nas medições do nível de combustível. Um circuito temporizador RC foi projetado para suavizar leituras, com constante de tempo de 4,7 segundos, reduzindo falsos alarmes causados por vibrações e movimentos bruscos.

2.2.5 Resultados

Testes no campus da UEMA demonstraram:

- Temperaturas do cárter e CVT mantiveram-se dentro dos limites seguros (abaixo de 90 °C).
- RPM variou conforme esperado, indicando desligamento apropriado no final do teste.
- Nível de combustível permaneceu acima do limite mínimo crítico durante todo o percurso.

- Informações foram transmitidas com sucesso a até 258 metros de distância.

A operação integrada entre sensores, microcontroladores e comunicação LoRa provou-se eficaz para monitoramento em ambientes dinâmicos e desafiadores.

3 Discussão

Os dados coletados evidenciam que redes de sensores sem fio, com arquitetura simples e sensores de baixo custo, podem ser aplicadas com sucesso em ambientes variados, oferecendo dados confiáveis para análise em tempo real.

Os sistemas mostraram-se viáveis economicamente e energeticamente, com a energia solar garantindo autonomia no monitoramento climático e uso de protocolos como LoRa ampliando significativamente o alcance e integridade das informações em sistemas móveis.

A modularidade do sistema facilita adaptações para outras aplicações, enquanto o processamento local nos nós sensores reduz o tráfego e consumo da rede.

4 Conclusão

O desenvolvimento prático e os testes apresentados comprovam a capacidade das RSS de proporcionar monitoramento preciso e oportuno para apoiar decisões em áreas urbanas e automotivas. O uso de sensores digitais integrados a microcontroladores acessíveis amplia o acesso a tais tecnologias, abrindo oportunidades para aplicações inovadoras e sustentáveis.

Referências

- [1] R. Verdone, D. Dardari, G. Mazzini, A. Conti, *Wireless sensor and actuator networks: Technologies, Analysis and Design*, Academic Press, 2008.
- [2] F. Al-Turjman, *Wireless Sensor Networks*, CRC Press, London, 2018.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, 2002.

- [4] M. Z. Saccol, N. Reinhard, “Tecnologias de informação móveis, sem fio e ubíquas: definições, estado-da-arte e oportunidades de pesquisa,” *Revista de Administração Contemporânea*, vol. 11, no. 4, 2007.
- [5] A. Dwivedi, R. K. Naresh, R. S. Yadav, R. Kumar, “Precision Agriculture,” in *Promoting Agri-Hortucultural Technological Innovations*, Parmar Publishers, 2017, pp. 83–105.
- [6] M. B. Alcantud, P. R. Rosa, “Aplicação de Redes de Sensores Sem Fio na Agricultura de Precisão: Uma Reflexão Teórica,” *Colloquium Exactarum*, vol. 9, no. Especial, pp. 36–41, 2017.
- [7] A. M. Barbosa et al., “Aplicações de Redes de Sensores Sem Fio,” *Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias*, Capítulo 13, 2020.
- [8] J. Marek, H. P. Trah, Y. Suzuki, I. Yokomori, *Sensors Applications: Sensors for Automotive Applications*, Wiley, Weinheim, 2003.
- [9] T. Yathavi, B. Akshaya, A. S. Prakash S., G. Meshach, A. Shruthi, “Parameter Monitoring and Functionality Control in Automobiles Using Raspberry Pi,” in *2019 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, Pondicherry, India, 2019, pp. 001–006.
- [10] J. M. S. Tavares, “Desenvolvimento, simulação e validação de protocolos MAC e de encaminhamento para redes de sensores sem fios,” M.Sc. thesis, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2009.