

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Código: PIK2230-2025**Título:** PESQUISA EM REDE DE SENSORES INTELIGENTES PARA ACOMPANHAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS**Tipo:** EXTERNO (Projeto Novo)**Natureza do Projeto:** Projeto de Fluxo Contínuo**Tipo de Pesquisa:** Pesquisa Aplicada**Situação:** EM EXECUÇÃO**Unidade de Lotação do Coordenador:** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA - CTG (11.65.55)**Unidade de Execução:** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA - CTG (11.65.55)**Centro:** DIRETORIA DO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG (11.65)**Palavra-Chave:** Sistemas Embarcados, Rede de Sensores, Internet das Coisas**E-mail:** joserodrigues.oliveiraneito@ufpe.br**Período do Projeto:** 05/05/2025 a 30/04/2027

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



ÁREA DE CONHECIMENTO

Grande Área: Engenharias**Área:** Engenharia Elétrica

LINHA DE PESQUISA

Linha de Pesquisa: Telecomunicações

CORPO DO PROJETO

Resumo

Este projeto visa projetar e construir protótipos de sistemas embarcados para monitorar variáveis do solo e do ambiente, atuando como nós sensores em uma rede sem fio utilizará módulos de comunicação LoRaWAN e WiFi, com gateways apropriados para cada sub-rede, e um sistema de supervisão unificado desenvolvido no projeto. O objeto coletados auxiliem no manejo de culturas e acompanhamento de variáveis ambientais, utilizando ferramentas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e para serem desenvolvidas e incorporadas ao sistema.

Introdução/Justificativa

(incluindo os benefícios esperados no processo ensino-aprendizagem e o retorno para os cursos e para os professores da instituição em geral)

Uma nova direção de desenvolvimento no campo da ciência da informação são as redes de sensores sem fio (WSN, do inglês wireless sensor network). Elas têm atraído a atenção da academia e da indústria com sua enorme perspectiva de aplicação em diferentes setores, entre eles o de monitoramento ambiental (AYAZ et al., 2019; LIU; HUA; LAI, 2021; MOTAHIR, 2023). As WSN têm desempenhado um papel fundamental no acompanhamento das variáveis do solo e do ambiente, tais como umidade e temperatura (RASAYID et al., 2016), duração da umidade foliar (SAINI et al., 2022; PATLE et al., 2022), concentração de nitratos na água (CHATTERJEE et al., 2021), luminosidade (LIU; HUA; LAI, 2021), poluição (ALI et al., 2021), entre outras aplicações.

As WSN voltadas para monitoramento ambiental consistem em uma série de sensores distribuídos estrategicamente que coletam informações sobre o ambiente em tempo real (RASAYID et al., 2016; AYAZ et al., 2019). A coleta desses dados permite a compreensão dos processos e auxilia na tomada de decisões relacionadas à agricultura, manejo de recursos naturais e monitoramento ambiental (KHAN et al., 2021; XUE; HUANG, 2021; SAINI et al., 2022; HERNÁNDEZ-MORALES et al., 2023).

A monitoração da umidade do solo é essencial para o planejamento e manejo eficiente da irrigação (KHAN et al., 2021; HERNÁNDEZ-MORALES et al., 2023). Com uma rede de sensores, é possível obter dados precisos em diferentes pontos do solo, permitindo a análise espacial e auxiliando na determinação dos momentos ideais para a irrigação (KHAN et al., 2021; HERNÁNDEZ-MORALES et al., 2023). Além disso, a rede de sensores também pode ser utilizada para monitorar a temperatura do solo, fornecer informações sobre o comportamento térmico e ajudando a identificar áreas propícias ao desenvolvimento de determinadas culturas (XUE; HUANG, 2021) e no combate a pragas (PATLE et al., 2022; SAINI et al., 2022).

Os protocolos de redes de sensores sem fio desempenham um papel fundamental no sensoriamento remoto, permitindo a comunicação eficiente e confiável entre os dispositivos de coleta de dados (IEEE, 2020; IKPEHA et al., 2019).

Em aplicações como a agricultura e monitoramento ambiental, os nós da rede tendem a ficar em lugares isolados (nós sensores distantes entre si), sofrendo as intempéries ambientais. Estes nós normalmente estão distantes da rede elétrica e tendem a coletar dados cuja taxa de transmissão de dados não é alta (IEEE, 2020; AYAZ et al., 2019; BAGWARI et al., 2022). Essas características trazem a necessidade do desenvolvimento de protocolos de comunicação com baixo consumo energético, com grande alcance de distância entre nós da rede e resilientes a problemas de canal (IEEE, 2020; POPLI; JHA; JAIN, 2019).

Dentre os protocolos para esse tipo de rede tem se destacado o protocolo LoRaWAN.

O LoRaWAN (do inglês long range wide area network) é um protocolo de rede de baixa potência padronizado pela LoRaWAN Alliance. Sua principal vantagem é o uso da modulação LoRa na camada física de comunicação entre os dispositivos. Essa modulação, patenteada pela SemTechTM, é vantajosa por prover uma comunicação de baixa potência com uma boa relação sinal-ruído (SNR, do inglês signal-to-noise ratio), através de mecanismos de espalhamento espectral por chirp ou (CSS, do inglês chirp spread spectrum), o que traz a capacidade de longo alcance, sendo que seu alcance em áreas urbanas é em média de 4km, podendo chegar a 15km em áreas remotas (BAGWARI et al., 2022; LOMBARDO et al., 2022; SILVA et al., 2021).

Além disso, estufas inteligentes representam um avanço na agricultura moderna, combinando tecnologia avançada e práticas agrícolas sustentáveis para otimizar o cultivo de plantas em ambientes controlados (MORORO, 2023; FAROOQ et al., 2022b). Equipadas com sensores de temperatura, umidade, luz, entre outros, essas estufas podem monitorar e ajustar automaticamente as condições para o crescimento das plantas, garantindo assim colheitas mais saudáveis e produtivas (MORORO, 2023; FAROOQ et al., 2022b; ULLAH et al., 2022a). Para este tipo de aplicação, como além do sensoriamento atuadores são necessários para o controle do sistema, uma infraestrutura maior é presente, possivelmente tipos de comunicação e alimentação dos módulos sensores, podendo ser preferível a comunicação WiFi (IEEE, 2021) ao invés da LoRaWAN, por exemplo (MORORO, 2022b).

Neste projeto, serão projetados e construídos protótipos de sistemas embarcados para acompanhamento de variáveis do solo e do ambiente com o intuito de serem nós sensores em uma rede de sensores sem fio. A rede será híbrida, podendo conter módulos com comunicação LoRaWAN e módulos com comunicação WiFi. As subredes terão gateways apropriados,

mas cujos dados possam ser supervisionados por um mesmo sistema desenvolvido também no escopo deste projeto. A escolha por um supervisão construído para o projeto é devido ao intuito que a rede montada gere dados que auxiliem o manejo de culturas através de ferramentas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e aprendizado de máquina a serem desenvolvidas no grupo de pesquisa e que possam ser incorporadas como ferramentas dentro do sistema desenvolvido (FENG; CHEN; CHEN, 2022; SAINI et al., 2022; HERNÁNDEZ-MORALES et al., 2023; SHARMA et al., 2022; XUE; HUANG, 2021; ABDULLAH et al., 2021).

Ao desenvolver uma rede de sensores sem fio híbrida, utilizando tecnologias sem fio, e um sistema de supervisão unificado, o projeto pode contribuir para a modernização e otimização do manejo de culturas. A aplicação de ferramentas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e aprendizado de máquina, aliada à coleta de dados precisos sobre as variáveis do solo e do ambiente, permitirá o desenvolvimento de soluções para o setor agrícola. Isso inclui a criação de sistemas de monitoramento e controle mais eficientes, a otimização do uso de recursos como água e fertilizantes, e a previsão de safras, o que pode levar a um aumento da produtividade e da sustentabilidade da agricultura.

Além disso, o projeto estimula a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias dentro do estado, fortalecendo o ecossistema de inovação e atraindo investimentos para o setor. A formação de profissionais qualificados em áreas como sistemas embarcados, redes de sensores sem fio e processamento de sinais também contribui para o desenvolvimento do capital humano. Também é meta deste projeto divulgar os avanços científicos obtidos em periódicos e eventos especializados. Espera-se que os esforços empenhados neste sentido produzam publicações em revistas científicas e em congressos de reconhecida importância na área do projeto.

Objetivos

Este projeto tem como objetivo projetar e construir protótipos de sistemas embarcados para monitorar variáveis do solo e do ambiente, atuando como nós sensores em uma rede sem fio híbrida. A rede utilizará módulos de comunicação LoRaWAN e WiFi, com gateways apropriados para cada sub-rede, e um sistema de supervisão unificado desenvolvido no projeto. O objetivo é que os dados coletados auxiliem no manejo de culturas e acompanhamento de variáveis ambientais, utilizando ferramentas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e aprendizado de máquina, a serem desenvolvidas e incorporadas ao sistema.

Objetivos Específicos

1. Estudar a bibliografia relacionada para definir as variáveis mais importantes a serem monitoradas dependendo da aplicação: para agricultura, monitoramento ambiental, etc. E definição dos sensores eletrônicos para monitorá-las;
2. Estudar os protocolos de comunicação sem fio WiFi e LoRaWAN para o desenvolvimento da rede híbrida contendo dispositivos com ambos os protocolos embarcados;
3. Definir os requisitos do sistema microcontrolado que irá compor os nós sensores da rede;
4. Projetar e construir protótipos do sistema embarcado;
5. Implementar e testar o firmware que controlará cada um dos sensores e a comunicação sem fio;
6. Projetar e desenvolver o sistema supervisão responsável por gerenciamento da rede;
7. Testar em campo e gerar dados para auxílio a estudos de ferramentas de processamento digital de sinais e inteligência artificial.

Problemas de Pesquisa

Neste projeto, serão projetados e construídos protótipos de sistemas embarcados para acompanhamento de variáveis do solo e do ambiente com o intuito de serem nós sensores em uma rede de sensores sem fio. A rede será híbrida, podendo conter módulos com comunicação LoRaWAN e módulos com comunicação WiFi. As sub-redes terão gateways apropriados, mas cujos dados possam ser supervisionados por um mesmo sistema desenvolvido também no escopo deste projeto. A escolha por um supervisão construído para o projeto é devido ao intuito que a rede montada gere dados que auxiliem o manejo de culturas através de ferramentas de processamento digital de sinais, inteligência artificial e aprendizado de máquina a serem desenvolvidas no grupo de pesquisa e que possam ser incorporadas como ferramentas dentro do sistema desenvolvido (FENG; CHEN; CHEN, 2022; SAINI et al., 2022; HERNÁNDEZ-MORALES et al., 2023; SHARMA et al., 2022; XUE; HUANG, 2021; ABDULLAH et al., 2021).

Método Científico

A fim de alcançar os objetivos mencionados na Seção 2 deste plano de trabalho, o roteiro de execução do projeto se divide nas etapas sumarizadas a seguir.

- ETAPA 1 - Levantamento do Estado da Arte: nesta etapa será continuado o levantamento bibliográfico sobre a área de sensoriamento para atividade agrícola, tanto relacionado aos sensores que devem ser utilizados, quanto as características do hardware a ser projetado, além dos protocolos de comunicação sem fio adequados. Para isso serão utilizados os portais das editoras de jornais científicos, tais como IEEE2 , Elsevier3 e Springer4 , cujas principais revistas podem ser acessadas tanto pelo portal CAFE da CAPES, quanto de dentro da rede da Universidade Federal de Pernambuco.
- ETAPA 2 - Levantamento dos Requisitos de Projeto: o projeto de um sistema embarcado envolve várias etapas (WOLF, 2008; COHEN, 2015; STADZISZ; RENAUX, 2007) Renaux (2007), ele pode ser organizado em onze etapas: (i) concepção do produto; (ii) engenharia de requisitos; (iii) engenharia de sistema; (iv) processo de desenvolvimento de software; (v) processo de desenvolvimento da mecânica; (vi) integração do sistema; (vii) teste do sistema; (ix) teste em campo; (x) docur e de produção; (xi) empacotamento de produto. Adaptando-se para este projeto de pesquisa, o sistema proposto nos objetivos específicos desta proposta deve passar pela uma grande interligação entre o desenvolvimento de software e hardware, dada a natureza da proposta.
- ETAPA 3 - Projeto dos Módulos de Comunicação: seguindo aos passos indicados na etapa anterior, serão implementados os módulos de comunicação. Em primeiro lugar módulo de comunicação por fio, para poder ser utilizado para testes da plataforma. Estabelecendo essa comunicação, será então implementada e testada a comunicação s etapa de engenharia de requisitos (SMITH, 2011; SEN; KOO; BAGCHI, 2018). Com o protocolo funcionando ponto a ponto, será possível montar a rede de sensores e testá SEN; KOO; BAGCHI, 2018).
- ETAPA 4 - Projeto dos Módulos de Sensoriamento: seguindo os passos indicados na Etapa 2, será possível a implementação do módulo de sensoriamento. É imprescindível dos módulos de comunicação esteja funcionando, para que as rotinas relacionadas aos diferentes tipos de sensores possam ser testadas.
- ETAPA 5 - Projeto do Supervisório: nesta etapa será definida a comunicação entre os nós da rede os gateways, possibilitando o armazenamento dos dados coletados pelos sensores, a visualização dos dados, cadastros dos nós das redes, levantamento de curvas de tendência e aplic de processamento de sinais ao dados coletados para auxílio a tomada de decisão. Para essa etapa é esperado que um backend escrito na linguagem Python seja desenvc frontend para visualização dos dados seja escrito em Flutter.
- ETAPA 6 - Documentação: esta é uma etapa que acompanha quase todo o desenvolvimento do sistema, no entanto, após o projeto finalizado é quando todos os dados le projeto são sintetizados tendo como objetivo tanto a sua divulgação no meio científico como manuais de uso da plataforma, possibilitando a manutenção, melhorias no proj plataforma em outras pesquisas.

Referências

- ABDULLAH, N. et al. Towards smart agriculture monitoring using fuzzy systems. IEEE Access, v. 9, p. 4097–4111, 2021.
- ALI, S. et al. Low cost sensor with iot lorawan connectivity and machine learning-based calibration for air pollution monitoring. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, v. 70, p. 1–11, 2021.
- AYAZ, M. et al. Internet-of-things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. IEEE Access, v. 7, p. 129551–129583, 2019.
- BAGWARI, S. et al. Low-cost sensor-based and lorawan opportunities for landslide monitoring systems on iot platform: A review. IEEE Access, v. 10, p. 7107–7127, 2022.
- CHATTERJEE, B. et al. Context-aware collaborative intelligence with spatio-temporal in-sensor-analytics for efficient communication in a large-area IoT testbed. IEEE Internet of Things Journal, v. 8, n. 8, p. 6800–6814, 2021.
- COHEN, A. Prototype to Product: A Practical Guide for Getting to Market. 1st. ed. [S.l.]: O'Reilly, 2015.
- FAROOQ, M. S. et al. Iot based smart greenhouse framework and control strategies for sustainable agriculture. IEEE Access, v. 10, p. 99394–99420, 2022.
- FAROOQ, M. S. et al. Internet of things in greenhouse agriculture: A survey on enabling technologies, applications, and protocols. IEEE Access, v. 10, p. 53374–53397, 2022.
- FENG, J.; CHEN, F.; CHEN, H. Data reconstruction coverage based on graph signal processing for wireless sensor networks. IEEE Wireless Communications Letters, v. 11, n. 1, p. 48–52, 2022.
- HERNÁNDEZ-MORALES, C. A. et al. IoT-based spatial monitoring and environment prediction system for smart greenhouses. IEEE Latin America Transactions, v. 21, n. 4, p. 602–611, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 3.
- IEEE. Ieee standard for low-rate wireless networks. IEEE Std 802.15.4-2020 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2015), p. 1–800, 2020.
- IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Redline. IEEE Std 802.11-2020 (Revision of IEEE Std 802.11-2016) - Redline, p. 1–7524, 2021.
- IKPEHAI, A. et al. Low-power wide area network technologies for internet-of-things: A comparative review. IEEE Internet of Things Journal, v. 6, n. 2, p. 2225–2240, 2019.
- KHAN, R. et al. Smart sensing-enabled decision support system for water scheduling in orange orchard. IEEE Sensors Journal, v. 21, n. 16, p. 17492–17499, 2021.
- LIU, L.; HUA, S.; LAI, Q. Automatic control system of balancing agricultural stereo cultivation based on wireless sensors. IEEE Sensors Journal, v. 21, n. 16, p. 17517–17524, 2021.
- LOMBARDO, A. et al. LoRaWAN versus NB-IoT: Transmission performance analysis within critical environments. IEEE Internet of Things Journal, v. 9, n. 2, p. 1068–1081, 2022.

MORORO, F. L. Desenvolvimento de um Protótipo de Estufa Inteligente para Agricultura com Tecnologia IoT. Recife, PE, 2023. Monografia, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco.

MOTAHHIR, S. (Ed.). Smart Embedded Systems and Applications. Gistrup, Denmark: River, 2023.

PATLE, K. S. et al. Field evaluation of smart sensor system for plant disease prediction using LSTM network. IEEE Sensors Journal, v. 22, n. 4, p. 3715–3725, 2022.

POPLI, S.; JHA, R. K.; JAIN, S. A survey on energy efficient narrowband internet of things (nb-iot): Architecture, application and challenges. IEEE Access, v. 7, p. 16739–16776, 2019.

RASYID, A. et al. Application to determine water volume for agriculture based on temperature & humidity using wireless sensor network. In: 2016 International Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing (KCIC). [S.l.: s.n.], 2016. p. 105–112.

SAINI, R. et al. Attention-based multi-input multi-output neural network for plant disease prediction using multisensor system. IEEE Sensors Journal, v. 22, n. 24, p. 24242–24252, 2022.

SEN, S.; KOO, J.; BAGCHI, S. TRIFECTA: Security, energy efficiency, and communication capacity comparison for wireless IoT devices. IEEE Internet Computing, v. 22, n. 1, p. 74–81, 2018.

SHARMA, R. P. et al. IoT-enabled IEEE 802.15.4 WSN monitoring infrastructure-driven fuzzy-logic-based crop pest prediction. IEEE Internet of Things Journal, v. 9, n. 4, p. 3037–3045, 2022.

SILVA, F. S. D. et al. A survey on long-range wide-area network technology optimizations. IEEE Access, v. 9, p. 106079–106106, 2021.

SMITH, P. Comparisons between low power wireless technologies. US Patent CS-213199-AN, 2011. Citado na página 3.

STADZISZ, P. C.; RENAUX, D. P. B. Sistemas embarcados. In: Embarcado, p. 107–155.. 1st. ed. Guarapuava: SBC, 2007. cap. Software

ULLAH, I. et al. Toward autonomous farmingâC”a novel scheme based on learning to prediction and optimization for smart greenhouse environment control. IEEE Internet of n. 24, p. 25300–25323, 2022. Citado na página 2.

WOLF, W. Computers as Components Principles of Embedded Computing System Design. 2nd. ed. [S.l.]: Elsevier, 2008.

XUE, D.; HUANG, W. Smart agriculture wireless sensor routing protocol and node location algorithm based on internet of things technology. IEEE Sensors Journal, v. 21, n. 22, p. 24967–24973, 2021.

Resultados Esperados

Ao fim de do projeto, é esperado que tenham sido projetados e desenvolvidos dois sistemas embarcados que monitorem variáveis do solo e do ambiente, tais como temperatura, umidade e luminosidade. Um dos sistemas possuindo comunicação LoRaWAN e um sistema com comunicação WiFi. É esperado ainda que seja construída uma rede com alguns pontos desses nós sensores para que seja testada a rede sem fio, assim como os sensores que as integrarem. Os dados vindos desses nós sensores serão centralizados em um banco de dados e visualizados utilizando um software supervisorio desenvolvido durante o projeto.

MEMBROS DO PROJETO																							
Nome												Categoria				CH Dedicada Função							
JOSE RODRIGUES DE OLIVEIRA NETO												DOCENTE				10 COORDENADOR(A)							
CRONOGRAMA DE ATIVIDADES																							
Atividade		2025								2026													
		Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE																							
LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DO PROJETO																							
PROJETO DOS MÓDULOS DE COMUNICAÇÃO																							
PROJETO DOS MÓDULOS DE SENSORIAMENTO																							
PROJETO DO SUPERVISÓRIO																							
DOCUMENTAÇÃO																							
PLANOS DE TRABALHO																							
Título												Tipo da Bolsa											
Desenvolvimento de Dispositivo IoT para Carcinicultura												PIBITI - Propesqi (IT)											
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM REDE DE COMUNICAÇÃO SEM FIO PARA ACOMPANHAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS												PIBIC - Propesqi (IC)											
VALIDAÇÃO DO PROJETO EXTERNO																							
Situação				Observações																Data			
VALIDADO				Documentação conforme requisitos.																24/04/2025			
HISTÓRICO DO PROJETO																							
Data				Situação				Usuário															
24/04/2025 07:27				CADASTRO EM ANDAMENTO				JOSE RODRIGUES DE OLIVEIRA NETO (08072858467)															
24/04/2025 07:43				CADASTRADO				JOSE RODRIGUES DE OLIVEIRA NETO (08072858467)															
24/04/2025 07:43				AGUARDANDO VALIDAÇÃO				JOSE RODRIGUES DE OLIVEIRA NETO (08072858467)															
24/04/2025 09:14				VALIDADO				MARCELA CORREIA MOREIRA (mcmoreira)															
24/04/2025 09:14				EM EXECUÇÃO				MARCELA CORREIA MOREIRA (mcmoreira)															