Sistema Inteligente de Monitoramento Termo-Higrométrico para Ambientes Educacionais

José Expedito Nascimento Avelino, Claudeny Nivaldo Avelino, Ruan Carlos Almeida Martins, Rubens de Souza Matos Junior, Fabio Luis Santos Nunes

Instituto Federal de Sergipe (IFS) – Campus Lagarto
Lagarto – SE – Brasil

{jose.avelino068, claudeny.avelino78, ruan.martins089}@academico.ifs.edu.br, {rubens.junior, fabio.santos}@ifs.edu.br

Abstract. *This paper presents the development and validation of JK-SENSOR, a low-cost thermo-hygrometric monitoring system for educational environments. The solution integrates an ESP32, DHT22 sensor, OLED display, and web platform for real-time monitoring, history, and temperature and humidity alerts. Experimental validation was conducted in three educational scenarios, with 120 observations statistically evaluated through Pearson correlation and error metrics. The system contributes to healthier learning environments and aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs).*
Keywords: IoT, Environmental Monitoring, Thermal Comfort, Education, SDGs.

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação do JK-SENSOR, sistema de baixo custo para monitoramento termo-higrométrico em ambientes educacionais. A solução integra ESP32, sensor DHT22, display OLED e plataforma web para monitoramento em tempo real, histórico e alertas de temperatura e umidade. A validação foi realizada em três cenários, com 120 observações válidas, 40 por ambiente, coletadas a cada 30 minutos durante dois dias. Os dados foram analisados por Pearson, MAE, RMSE e viés. O sistema contribui para ambientes de aprendizagem mais saudáveis e está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.*
Palavras-chave: IoT, Monitoramento Ambiental, Conforto Térmico, Educação, ODS.

1. Introdução

A qualidade do ambiente interno em instituições de ensino influencia o bem-estar, a concentração e o desempenho acadêmico. Variações inadequadas de temperatura e umidade produzem desconforto, fadiga e dificuldades no processo de ensino-aprendizagem, além da possibilidade de afetar materiais e equipamentos. A ausência de monitoramento contínuo dificulta decisões rápidas diante de anomalias ambientais. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação experimental do JK-SENSOR, sistema IoT para monitoramento de temperatura e umidade do ar. O objetivo é avaliar sua operação funcional, seu desempenho comparativo e sua integração tecnológica para contribuir com ambientes

escolares mais saudáveis e produtivos.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Internet das Coisas (IoT) e Plataformas Web Dedicadas

A Internet das Coisas (IoT) conecta objetos físicos à rede e permite coletar dados em tempo real. Em monitoramento ambiental, sensores de baixo custo e plataformas web podem ampliar a escala das políticas públicas de acompanhamento e tornar a informação acessível, desde que suas leituras sejam verificadas por instrumentos de referência [Corona et al. 2024].

2.2. Sensores de Temperatura e Umidade do Ar

Sensores ambientais convertem grandezas físicas em sinais elétricos. Estudos recentes avaliaram simultaneamente qualidade do ar, temperatura, umidade e conforto térmico em escolas e ambientes internos, reforçando a necessidade de políticas públicas de medição e comparação com instrumentos de referência [Escandón et al. 2025; Fissore et al. 2026]. O JK-SENSOR segue essa abordagem em escala de baixo custo, com coleta automática, plataforma web e validação local. Enquanto esses estudos enfatizam políticas públicas e monitoramentos prolongados, conforto ou múltiplos parâmetros, este trabalho concentra-se em dispositivo acessível, MQTT, histórico, alertas e validação em três microambientes educacionais.

2.3. Conforto Térmico e Rendimento Escolar

Conforto térmico corresponde à satisfação percebida com o ambiente. Pesquisas em escolas e salas universitárias relacionam sobreaquecimento e qualidade ambiental ao conforto, à saúde e ao desempenho cognitivo [Manfren et al. 2026; Fissore et al. 2026]. Aqui, essas relações são contexto e motivação; não foram medidos conforto subjetivo nem desempenho acadêmico. Para interpretar os alertas, adotaram-se como referências a NR-17, a ABNT NBR 17037:2023 e a ABNT NBR 16401-2:2024 [NR-17 2022; ABNT NBR 17037 2023; ABNT NBR 16401-2 2024]. A faixa de 21–24 °C e 40–60% UR é uma parametrização de projeto definida como ideal para estudo; não é apresentada como exigência universal das normas.

2.4. Trabalhos Relacionados

Santos (2024) apresentou uma solução baseada em ESP32, DHT22 e Firebase, com acompanhamento por aplicativo móvel, enquanto Silva et al. (2022) investigaram um sistema de baixo custo, baseado em Arduino Leonardo e DHT11, para monitoramento termo-higrométrico e acionamento de ventilação em maternidade de suínos. O JK-SENSOR se aproxima dessas propostas ao utilizar hardware acessível e monitoramento remoto, mas se diferencia ao integrar DHT22, ESP32, display OLED, comunicação Wi-Fi/MQTT, backend Node.js/Express, armazenamento em Supabase, API e dashboard web com histórico e alertas. Além disso, a presente avaliação foi conduzida em três microambientes educacionais e reuniu 120 observações pareadas, permitindo discutir tanto a operação integrada quanto o desempenho comparativo do protótipo.

3. Metodologia

O desenvolvimento e a validação experimental do JK-SENSOR seguiram abordagem iterativa de hardware e software em ambientes educacionais reais. Trata-se de validação comparativa de protótipo, não de calibração metrológica rastreável.

3.1. Instrumentos e Equipamentos

A Tabela 1 apresenta os principais componentes utilizados no JK-SENSOR e suas respectivas funções. Para a comparação em campo, utilizaram-se o multímetro MD-6199, somente para temperatura, e o termo-higrômetro Hi-Tec TA-318, para temperatura e umidade.

Tabela 1. Especificações do hardware e software do JK-SENSOR.

Bloco	Componentes/Referências	Função e especificações
Sistema	ESP32; DHT22; OLED	Controle, temperatura/UR e exibição local. DHT22: −40–80 °C; 0–100% UR; ±0,5 °C e ±2% UR.
Montagem e alimentação	Protoboard; cabos; pull-up 10 kΩ; USB	Interligação, estabilidade do barramento e alimentação.
Software e operação	IDE Arduino; Wi-Fi/MQTT; Node.js; Supabase; dashboard[1]; alertas	Firmware, transmissão, processamento, armazenamento, histórico, gráficos e alertas de faixa/status offline.
Referências de validação	MD-6199; TA-318; Climatempo	MD-6199: temperatura, resolução 1 °C, ±1–3%. TA-318: temperatura/UR, ±0,1 °C e ±5% UR. Climatempo: previsão/interpolação macroclimática; não é sensor físico nem possui margem fixa.

[1]Plataforma web para visualização, histórico e alertas: jksensor-dashboard.netlify.app.

3.2. Protocolo de Coleta e Cenários de Teste

As atividades experimentais foram realizadas em três ambientes do IFS – Campus Lagarto, selecionados por seus perfis microclimáticos distintos, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Cenários de teste para validação do JK-SENSOR.

Cenário	Características	Objetivo da Avaliação
Laboratório 2	Ambiente fechado, com ar condicionado e 20 computadores.	Desempenho em condições controladas e de uso computacional.
Sala de Física	Ambiente fechado sem ar condicionado.	Avaliação de variações térmicas acentuadas.
Ginásio Poliesportivo	Ambiente aberto.	Robustez em condições dinâmicas.

3.3. Tratamento de Dados e Validação Estatística

Os registros de campo foram tabulados e analisados. Avaliaram-se exploratoriamente a normalidade das diferenças, a linearidade, possíveis outliers e a dependência temporal. Como as medições ocorreram a cada 30 minutos, a independência estrita não foi assumida; assim, o teste t pareado foi utilizado para avaliar a diferença média entre as leituras simultâneas, com interpretação cautelosa. Para cada par, definiu-se $d_i = x_i - y_i$ e calculou-se $t = \bar{d}/(s_d/\sqrt{n})$, com $\bar{d}$ como média das diferenças, s_d como seu desvio-padrão, n como número de pares e $gl = n - 1$. O Pearson foi mantido como medida complementar de associação, não de equivalência metrológica. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi

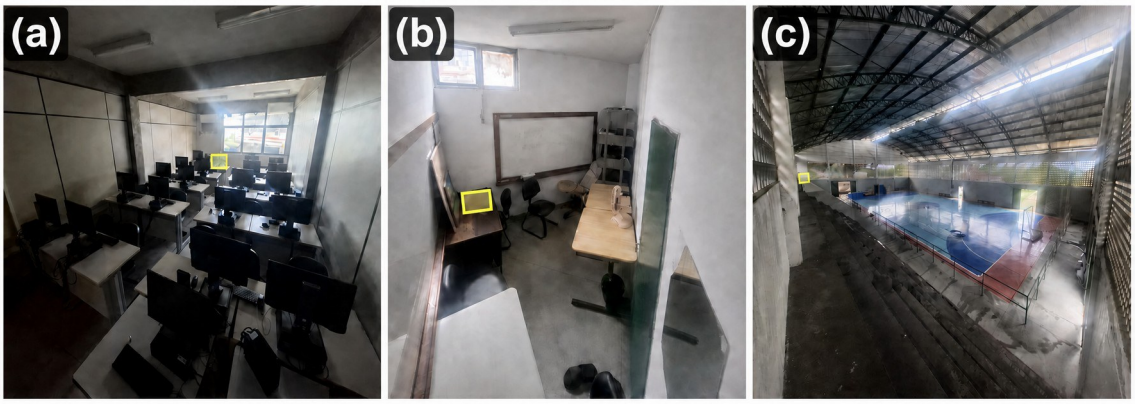


Figura 1. Ambientes de teste do JK-SENSOR, organizados horizontalmente em três painéis: (a) Laboratório 2–COINF; (b) Sala dos Estudantes de Física; e (c) Ginásio Poliesportivo. As marcações amarelas indicam a posição aproximada de medição.

calculado por

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\left[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\right]\left[n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\right]}},$$

em que x representa a leitura do instrumento comparador, y representa a leitura do JK-SENSOR e n é o número de observações pareadas. Valores de r próximos de $+1$ indicam associação linear positiva; valores próximos de 0 indicam baixa associação. O coeficiente avalia associação, não equivalência absoluta entre instrumentos. Também foram calculados MAE, RMSE e viés, definido como JK-SENSOR menos o instrumento comparado. O MD-6199 foi utilizado somente para temperatura; o TA-318 foi utilizado para temperatura e umidade.

Tabela 3. Pearson (r) e teste t pareado por ambiente (gl = 39; p bilateral).

Variável — referência	Laboratório 2	Ginásio	Sala de Física
Temperatura — MD-6199	0,644; 0,194 (0,847)	0,895; −2,293 (0,027)	0,773; −9,264 (<0,001)
Temperatura — TA-318	1,000; não estimável[1]	1,000; não estimável[1]	0,943; 10,781 (<0,001)
Umidade — TA-318	0,999; 21,674 (<0,001)	0,015; 8,305 (<0,001)	indef.; 10,646 (<0,001)

[1]No Laboratório 2 e no Ginásio, a diferença JK-SENSOR–TA-318 foi constante em +0,4 °C; o t pareado não foi estimável. Na Sala de Física, o Pearson ficou indefinido pela ausência de variância em 99,9% UR; a leitura foi válida como saída do sensor, sem provar umidade atmosférica real de 99,9%.

Tabela 4. Métricas agregadas de validação nas 120 observações.

Comparação	r	MAE	RMSE	Viés	t pareado (gl; p)
Temperatura: JK-SENSOR–MD-6199	0,9678	0,7958 °C	1,1009 °C	−0,3725 °C	−3,923 (119; <0,001)
Temperatura: JK-SENSOR–TA-318	0,9993	0,4092 °C	0,4271 °C	+0,4042 °C	31,930 (119; <0,001)
Umidade: JK-SENSOR–TA-318	0,9637	7,2996 p.p.	9,7090 p.p.	+7,2996 p.p.	12,439 (119; <0,001)

Diferenças médias agregadas: −0,373 °C (IC95%: −0,561 a −0,184) para MD-6199; +0,404 °C (IC95%: +0,379 a +0,429) para TA-318 em temperatura; e +7,300 p.p. (IC95%: +6,138 a +8,462) para TA-318 em umidade. O teste t indicou diferenças médias significativas; a significância não foi interpretada como equivalência metrológica.

4. Resultados e Discussão

O JK-SENSOR apresentou desempenho comparativo consistente nas condições avaliadas. A integração de hardware de baixo custo com plataforma web dedicada resultou em uma aplicação completa, conforme evidências visuais e operacionais apresentadas a seguir.

4.1. Prototipagem e Operacionalização

O protótipo físico do JK-SENSOR, composto por ESP32, sensor DHT22 e display OLED, foi montado e testado com sucesso. A Figura 2 ilustra o hardware do sistema: à esquerda, o protótipo montado em protoboard com os componentes visíveis; à direita, o dispositivo em operação com o display OLED exibindo os dados em tempo real (Temp: 27,8 °C e Umid: 99,8%). A luz azul indica funcionamento ativo do sistema, confirmando a capacidade de coleta e apresentação local de dados.

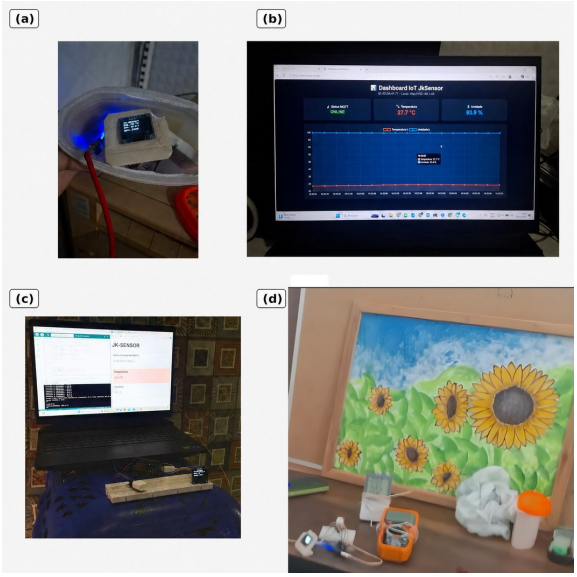


Figura 2. Componentes e operação do JK-SENSOR: (a) protótipo com ESP32, DHT22, display OLED e resistor pull-up de 10 kΩ; (b) dashboard IoT com visualização remota e histórico; (c) operação integrada entre o protótipo, a IDE Arduino e a plataforma web; e (d) reteste controlado na Sala de Estudantes de Física, em 13/08/2026, com os três aparelhos sobre a mesa.

4.2. Interface Web e Monitoramento Remoto

A plataforma web do JK-SENSOR (https://jksensor-dashboard.netlify.app/) constitui uma ferramenta funcional para monitoramento remoto [Santos 2024]. Em contraste, o JK-SENSOR enviou e registrou automaticamente seus dados, permitindo acompanhamento remoto e histórico das medições. A Figura 2(b) documenta o Dashboard IoT com dados em tempo real, alerta de umidade alta, gráfico histórico, status MQTT Online e tabela de histórico dos sensores; esses dados são disponibilizados por meio de uma API. A democratização do acesso à informação ambiental por meio da IoT reforça o potencial do sistema para tomada de decisões ágeis [Silva et al. 2022].

4.3. Sistema Integrado em Operação

A Figura 2(c) apresenta o protótipo conectado a um notebook e à IDE Arduino, enquanto a interface web exibe os dados em tempo real. O registro documenta a integração hardware-software e a configuração do sistema em ambiente educacional.

4.4. Validação e Confiabilidade

Os resultados variaram conforme o ambiente: a associação de umidade foi maior no Laboratório 2 (r = 0,999) e baixa no Ginásio (r = 0,015), comportamento compatível com a dinâmica de um espaço aberto. Na Sala de Física, o DHT22 registrou 99,9% UR nas 40 observações; a leitura foi considerada válida como saída do sensor, embora o Pearson fosse indefinido por ausência de variância (MAE = 11,2838; RMSE = 13,0819 p.p.). O valor constante não foi interpretado como prova de que a umidade atmosférica real permaneceu em 99,9%. O teste e o reteste controlados da Figura 2(d), realizados com os três aparelhos em 13/08/2026, confirmaram a variação da umidade em condições distintas, afastando travamento ou defeito. As diferenças de temperatura foram interpretadas segundo resolução e precisão dos instrumentos, sem atribuir causalidade a interferências não comprovadas. A campanha limitou-se a dois dias e 40 observações por ambiente, o que restringe a avaliação de variações sazonais e de condições meteorológicas distintas, como períodos chuvosos ou dias de calor intenso. A dependência temporal, a ausência de calibração rastreável, intervalos de confiança e Bland–Altman também impedem generalizar os resultados ou afirmar equivalência metrológica.

4.5. Alinhamento com os ODS

A Tabela 5 detalha as contribuições diretas do JK-SENSOR aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU [Organização das Nações Unidas 2015], reforçando o impacto social e ambiental do projeto.

Tabela 5. Contribuições do JK-SENSOR aos ODS.

ODS	Foco	Contribuição do JK-SENSOR
ODS 3	Saúde e Bem-Estar	Ambientes saudáveis; menor desconforto térmico.
ODS 4	Educação de Qualidade	Condições favoráveis à concentração e aprendizagem.
ODS 9	Inovação e Infraestrutura	IoT acessível para monitoramento ambiental.
ODS 12	Consumo Responsável	Baixo custo e seleção responsável de componentes.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho desenvolveu e validou o JK-SENSOR, integrando hardware, software e plataforma web de baixo custo para monitoramento termo-higrométrico. Os resultados confirmaram operação funcional e potencial de apoiar ambientes educacionais mais saudáveis, sem demonstrar melhoria direta do desempenho acadêmico. Como trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a campanha em diferentes estações, padronizar a instalação, comparar instrumentos, aprimorar alertas e disponibilizar código, dados anonimizados e scripts estatísticos com documentação para reprodução.

Referências

ABNT NBR 16401-2 (2024) Parâmetros de conforto térmico, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 17037 (2023) Qualidade do ar interior em ambientes não residenciais climatizados artificialmente, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Corona, J. et al. (2024) "Environmental Quality bOX (EQ-OX): A Portable Device Embedding Low-Cost Sensors Tailored for Comprehensive Indoor Environmental Quality Monitoring", Sensors, v. 24, 2176. doi: 10.3390/s24072176.

Escandón, R. et al. (2025) "Experimental assessment of the interaction between indoor air quality and thermal comfort in naturally ventilated secondary classrooms in southern Spain", Case Studies in Thermal Engineering, v. 72, 106335. doi: 10.1016/j.csite.2025.106335.

Fissore, V. I. et al. (2026) "Long-term monitoring of indoor environmental quality, student comfort and contextual factors in four university classrooms", Energy & Buildings, v. 366, 117658. doi: 10.1016/j.enbuild.2026.117658.

Manfren, M. et al. (2026) "A multi-dimensional approach to thermal resilience for UK schools: quantifying cognitive, comfort and heat strain impacts due to overheating", Energy & Buildings, v. 358, 117164. doi: 10.1016/j.enbuild.2026.117164.

NR-17 (2022) "Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17): Ergonomia", Ministério do Trabalho e Emprego, Brasil.

Organização das Nações Unidas (2015) "Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)", ONU.

Santos, B. O. dos (2024) "Sistema de medição de temperatura e umidade do ar controlado por uma ESP32 e monitorado em tempo real por um aplicativo", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade La Salle. Disponível em: http://hdl.handle.net/11690/4165.

Silva, E. T. M. da, Souza, S. R. L. de, Costa, N. Z., Oliveira, K. S. M. and Duarte, W. B. (2022) "Sistema de monitoramento de temperatura e umidade de baixo custo para maternidade de suínos", Energia na Agricultura, v. 37, n. 2, p. 1–11. doi: 10.17224/EnergAgric.2022v37n2p1-11.