

**DESEMPENHO TÉRMICO DE SENSORES DIGITAIS EM SECADOR  
HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO**

*Igor Ferreira Oliva (igorfo@ufrj.br)*

*Diana Corrêa Bandeira De Mello (diana.bandeira@gmail.com)*

*Felipe André Gonçalves Pereira (felipeandregp@gmail.com)*

*Hugo Carvalho Pereira (hugopereira@ufrj.br)*

*Juliana Lobo Paes (juliana.lobop@gmail.com)*

*Romulo Cardoso Valadão (romulocv@ufrj.br)*

A estabilidade da temperatura é determinante para qualidade e segurança na secagem de alimentos, sobretudo em secadores híbridos solar-elétricos (SHSE) usados por pequenos produtores. Objetivou-se comparar, quanto a variável temperatura do ar de secagem, o desempenho de sensores digitais de baixo custo (DHT11, DHT22, SHT30 e BME280) frente a um datalogger de referência, empregando análise descritiva e o método de Bland–Altman. Os ensaios foram realizados em um desidratador DS-800 PLUS (12 bandejas), cobrindo ar ambiente e patamares de 40, 50, 60 e 70 °C. Os sensores foram dispostos em arranjo suspenso com cabos de rede do tipo par trançado sem blindagem (UTP - Unshielded Twisted Pair), evitando contato com superfícies e gradientes locais. O sistema de referência utilizou dois dataloggers posicionados nas extremidades da bandeja para capturar possíveis variações internas. As leituras foram registradas a cada 2 s por 35 min após estabilização

térmica de 25 min em cada patamar. O fluxo de aquisição dos sensores (ESP32, comunicação serial) e do datalogger garantiu dados sincronizados para comparação. Nos resultados descritivos, o DHT22 apresentou as menores discrepâncias em todas as condições, com viés praticamente nulo em 40 °C (-0,13 °C) e erro quadrático médio (RMSE) de 0,17 °C; mesmo em 70 °C manteve viés baixo (0,46 °C). O SHT30 destacou-se pela precisão (menores desvios-padrão), por exemplo DP = 0,07 °C em 40 °C, porém com tendência à superestimação (viés positivo). O DHT11 exibiu desempenho intermediário e maior dispersão conforme a temperatura aumentou. O BME280 superestimou a temperatura, sobretudo em níveis elevados (viés de 0,88 °C e 0,91 °C em 60 °C e 70 °C, respectivamente), com RMSE acima de 1,0 °C nas faixas mais quentes. A leitura ambiente apresentou resultados semelhantes, com o DHT22 mais próximo da referência e o BME280 com superestimação mais acentuada. A análise de Bland–Altman entre sensores e datalogger confirmou que em 40 °C obteve-se a melhor proximidade da linha de concordância e menor amplitude dos limites, enquanto a dispersão aumentou à medida que a temperatura se elevou, com predomínio de diferenças positivas (superestimação) em 60 °C e 70 °C. Em condições ambiente, observou-se viés positivo com dispersão crescente ao longo da média das medidas, sugerindo erros constantes. Já a 50 °C houve dispersões positivas e negativas, indicando instabilidade intermediária. Em 70 °C, a maior amplitude dos limites e pontos próximos ao limite superior indicaram perda de robustez de parte dos sensores em regime térmico extremo. Integrando as duas abordagens (descrita e Bland–Altman), o DHT22 foi o sensor com melhor desempenho global para monitoramento da temperatura do ar de secagem, conciliando baixa magnitude de viés e erros (MAE/RMSE) com variabilidade reduzida ao longo dos patamares, enquanto o SHT30 mostrou-se alternativa precisa, porém tendenciosa à superestimação. O DHT11 é aceitável apenas em condições menos rigorosas e o BME280, apesar de repetível, exibiu a maior superestimação em altas temperaturas, reduzindo sua aplicabilidade quando a exatidão é essencial. Conclui-se que, para compor um sistema automático de monitoramento térmico em secador híbrido solar-elétrico, o DHT22 deve ser priorizado para temperatura, considerando a robustez observada nos indicadores descritivos e a concordância prática evidenciada pelos gráficos de Bland–Altman, sendo que a calibração complementar e redundância sensorial podem mitigar a degradação de desempenho em patamares extremos de aquecimento.

Palavras-chave: monitoramento térmico; sensores de baixo custo; esp32; datalogger; concordância.