

Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática de baixo custo utilizando tecnologias embarcadas

Leonardo Oliveira de Sousa
Centro de Ciências Exatas e Naturais¹
Universidade Rural do Semi-Árido²
Mossoró, Brasil³
leosousaa98@gmail.com

Emerson Nunes dos Santos^{1,2,3}
emerson.nunes@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade^{2,3}
Departamento de Engenharia e
Tecnologia⁴
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Mario Henrique de Medeiros Filho^{2,3,4}
mario.filho94364@alunos.ufersa.edu.br

José Filipe de Lima^{2,3,4}
limafilipe569@gmail.com

Maria Eduarda dos Santos Freitas^{1,2,3}
maria.freitas01450@alunos.ufersa.edu.br

Resumo—O avanço tecnológico torna viável à integração da Internet das Coisas a aplicação de tecnologias embarcadas na agricultura de precisão, possibilitando uma análise mais detalhada das condições ambientais de maneira a diminuir o tempo de resposta dos produtores e aumentar a produtividade. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma estação meteorológica automática de baixo custo, utilizando sensores comerciais e projetados, capaz de monitorar variáveis climáticas e permitindo o monitoramento dos dados de forma local e remota através da conexão *WiFi* por meio da plataforma ESP32. Os resultados foram satisfatórios ao esperado a partir da comparação com valores captados por sistemas comerciais/padrões.

Palavras-chaves—estação meteorológica, ESP32, agricultura de precisão, sensoriamento.

I. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things (IoT)*) viabiliza a conexão com a internet aos objetos do dia-a-dia, proporcionando uma capacidade computacional e de comunicação aos mesmos, permitindo que dispositivos sejam acessados como provedoras de serviço e controlados remotamente [1].

A agricultura de precisão permite gerenciamento localizado de regiões através da análise de setores divididos de uma propriedade, permitindo que o agricultor tenha conhecimento mais preciso e detalhado de sua terra ou produção, possibilitando o manejo de insumos com quantidade e momento adequado às variáveis espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade de uma produção [2][3].

Uma estação meteorológica automática (EMA) permite o monitoramento de variáveis climáticas registrando os dados em um *datalogger* e, algumas delas, enviando-os para um servidor na internet; além de serem preferíveis por apresentarem pouca manutenção, alta taxa de amostragem e praticidade de uso [4].

O presente trabalho tem como objetivo a implementação de uma estação meteorológica automática de baixo custo com o uso de tecnologias eletrônicas embarcadas, coletando dados de temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, velocidade e direção do vento; permitindo também o monitoramento dos dados de forma local e remota em uma plataforma *web*.

Na seção II aborda-se os materiais e dispositivos utilizados, assim como os métodos de coleta e aferição de

alguns sensores; na seção III são apresentados os resultados e análises dos dados coletados, o método de funcionamento da estação, a estrutura física e monitoramento dos dados; por fim, é apresentado na seção IV, a conclusão deste trabalho.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a realização do estudo sobre estado arte sobre estações meteorológicas e variáveis climáticas, foram determinadas as variáveis a serem trabalhadas e realizada as escolhas dos módulos e sensores utilizados no presente projeto, apresentados nos subtópicos a seguir.

A. Processamento e Registro de Dados

Foi definido, para o processamento de dados, a utilização do módulo ESP32 da empresa *Espressif Systems*, pois o mesmo apresenta poder de processamento elevado quando comparado a outros microprocessadores de mesma faixa de preço, e possui conexão *WiFi* e *bluetooth* integrado.

O módulo *Real Time Clock RTC DS1307* foi utilizado para fornecer informações de data e hora, permitindo que os dados sejam coletados no momento correto. E para armazenamento local de dados foi instalado um módulo *MicroSD Card Adapter* pois possibilita maior espaço de armazenamento para escrita e leitura de dados, e gravação de dados permanentemente.

B. Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar é realizada pelo sensor digital SHT20. A escolha do sensor se deu devido a boa resolução, pequena margem de erro, $\pm 0,3$ °C e ± 3 % RH, acompanhamento de um acoplamento IP65, à prova de poeira e jatos de água, baixo consumo de energia e utilizar-se do protocolo de comunicação I²C.

C. Pressão Atmosférica

Para captação dos dados de pressão atmosférica optou-se por usar o sensor BMP280, medindo valores de pressão entre 300 e 1100 hPa, equivalente a -500 e +9000 m em relação ao nível do mar, com precisão de $\pm 0,12$ hPa, equivalente a ± 1 m.

D. Precipitação

Os valores de precipitação são obtidos através de um pluviômetro de balsa adquirido de marca WRF Comercial, composto por um sistema mecânico que envia um pulso elétrico cada vez que esse sistema acumula 0,25 mm de precipitação. O erro máximo indicado pelo fabricante é 4% para chuvas de até 30 mm/h.

Foram realizados testes laboratoriais com o pluviômetro analisando o desempenho do instrumento com precipitações de diferentes intensidades. Utilizou-se de um equipo macrogotas para controlar a intensidade de precipitação, no qual a água é despejada no instrumento de forma controlada e coletada após os pulsos de medições; com um auxílio de uma proveta graduada, verificou-se a quantidade de precipitação para cada simulação e os valores medidos pelo pluviômetro.

E. Velocidade e Direção do Vento

A medição da velocidade e direção do vento é realizada com um anemômetro de copo e uma biruta, respectivamente, ambos da WRF Comercial. O sensor de velocidade mede a taxa de fluxo do vento, e o de direção indica a posição que a biruta aponta em graus, por meio da utilização de sensores magnéticos digitais do tipo *reed switch* medindo a velocidade angular do anemômetro e a posição da biruta.

F. Radiação Solar

Para medição da radiação solar foi desenvolvido um piranômetro de radiação solar global com uso de um fotodiodo. Conforme Luz et al., (2020), o fotodiodo BPW34 apresentou um desempenho mais adequado em comparação aos demais sensores comerciais, possuindo boa resposta espectral, com sensibilidade à comprimentos de onda entre 400 e 1100 nm.

Com intuito minimizar o impacto devido à irradiação solar direta no sensor, foi utilizado um difusor de acrílico polido com espessura de 3 mm posicionado acima do sensor [8]. A Figura 1.a demonstra o piranômetro finalizado confeccionado em plástico PLA preto, e o difusor de acrílico branco.

Para calibração do piranômetro, utilizou-se um piranômetro portátil MES-100 da marca Instrutherm. Os aparelhos foram submetidos à radiação solar global em plano horizontal para determinação da relação de *bits* e tensão do dispositivo desenvolvido com a radiação global do MES-100. Os dados foram coletados em intervalos de 10 minutos no período de 06h00 às 18h00 durante três dias. Com isto, obteve-se a equação de ajuste linear para todos os dias de coletas. Para aferir o instrumento, foi realizada a comparação da irradiação medida pelo piranômetro comercial e a radiação calculada com a equação de ajuste.

G. Protetor de Radiação

A fim de minimizar os erros de medições nos sensores de temperatura, umidade e pressão causados pela radiação solar direta, chuva e vento forte, foi desenvolvido um escudo, ou protetor de radiação, para os mesmos [5]. A Fig. 1.b ilustra o protetor de modelo “Gill” desenvolvido de polipropileno branco, ao qual os sensores são abrigados em seu interior [6] [7].

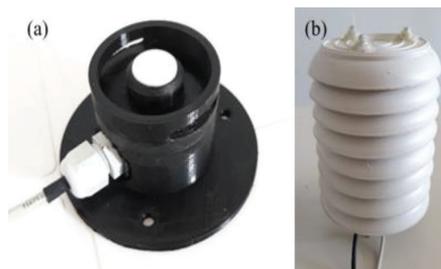


Fig. 1. Piranômetro desenvolvido (a) e protetor de radiação (b).

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados resultados preliminares dos sensores utilizados.

A. Piranômetro

As Fig. 2, 3 e 4 apresentam os gráficos de comparação entre o piranômetro desenvolvido e o comercial para os dias 27/07/2022, 03/08/2022 e 08/08/2022, respectivamente, assim como a equação de ajuste acompanhada do R^2 .

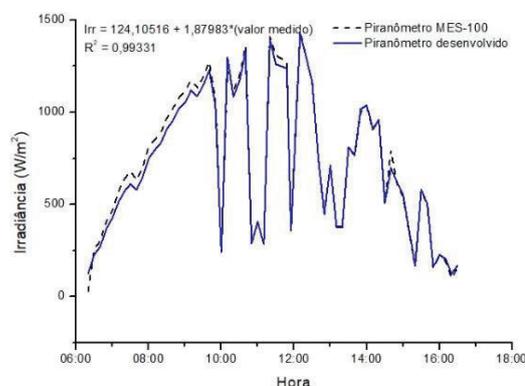


Fig. 2. Comparação entre piranômetros no dia 27/07/2022.

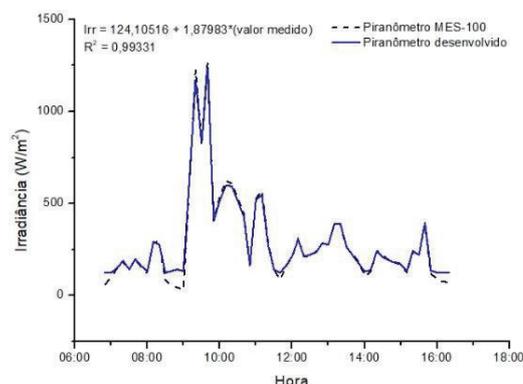


Fig. 3. Comparação entre piranômetros no dia 03/08/2022.

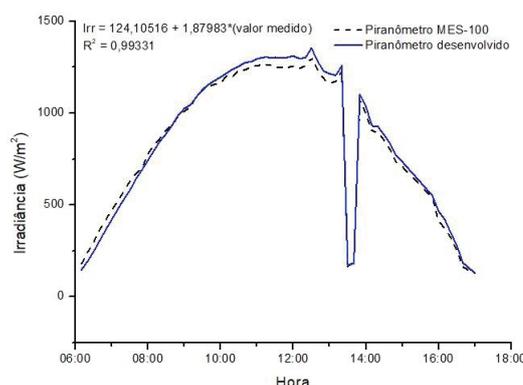


Fig. 4. Comparação entre piranômetros no dia 08/08/2022.

Nos dias 27/07/2022 e 08/08/2022 percebe-se o aumento da irradiação ao decorrer do dia, tendo seus valores de máximo próximo às 12h e alguns vales representados por momentos de sombreamentos devido às nuvens. O comportamento não variou de forma significativa para o dia 03/08/2022, o qual apresentou baixos níveis de radiação. Para os dias 27/07/2022, 03/08/2022 e 08/08/2022, os erros relativos médios foram de 1,4%, 2,7% e 3,8%, respectivamente. Percebe-se que no período da manhã houve maior variação dos valores comparados. Uma

possível causa desta variação pode ter sido a temperatura, fazendo com que ocorra uma variação de tensão na leitura analógica do microprocessador.

B. Pluviômetro

O resultado obtido com a simulação de precipitação é ilustrado na Fig. 5, apresentando o erro máximo de 3,4 % e, pode-se observar, que não houve correlação dos erros com as intensidades simuladas.

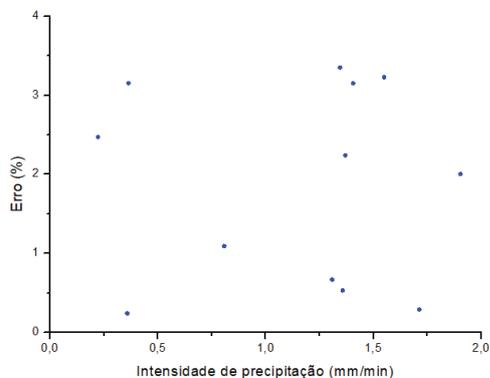


Fig. 5. Erro percentual em função da intensidade de precipitação simulada.

C. Resultado dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do Ar, Pressão Atmosférica e Velocidade e Direção do Vento

As variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, e velocidade e direção do vento foram coletadas na cidade de Mossoró-RN, sendo apresentadas nas Fig. 6, 7, 8 e 9.

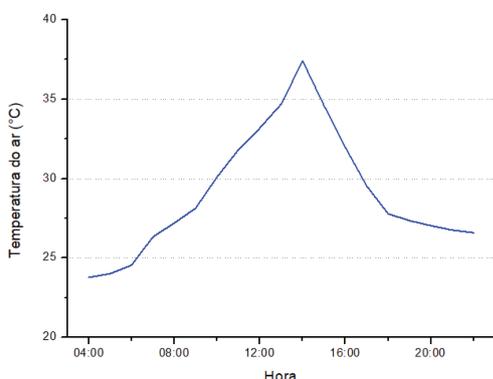


Fig. 6. Medições de temperatura do ar.

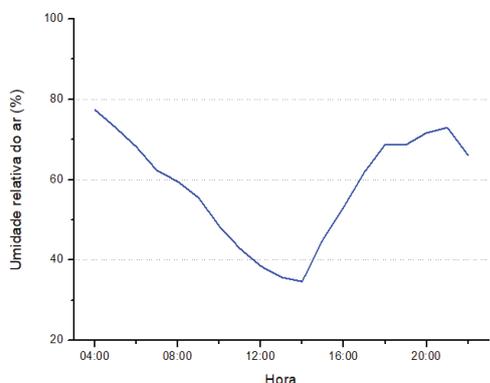


Fig. 7. Medições da umidade relativa do ar.

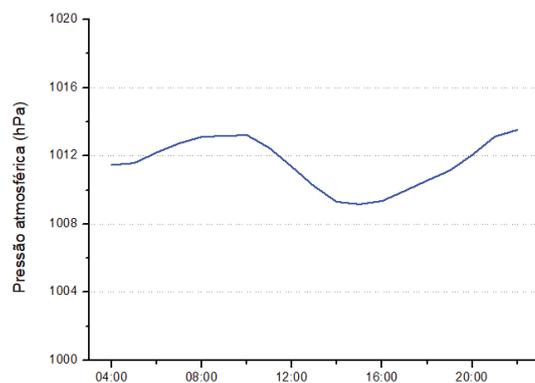


Fig. 8. Medições de pressão atmosférica.

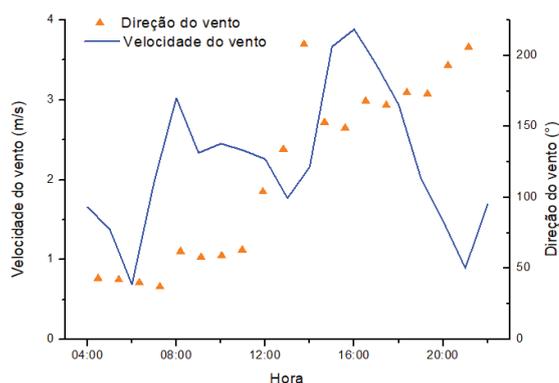


Fig. 9. Medições de velocidade e direção do vento.

Observa-se nos gráficos das Fig. 6, 7, 8 e 9 valores medidos no período de 04h00 às 22h00 do dia 09/09/2022. Os valores mostraram-se coerentes para um dia típico ensolarado no local medido, apresentando comportamento e valores de máximos e mínimos como esperados para as horas do dia.

D. Estrutura Física da Estação

O modelo final da estação meteorológica automática é apresentado na Fig. 10. No qual foi confeccionada uma estrutura de aço composta por um tripé e uma haste principal de altura regulável, responsáveis por fixar os instrumentos na posição correta.

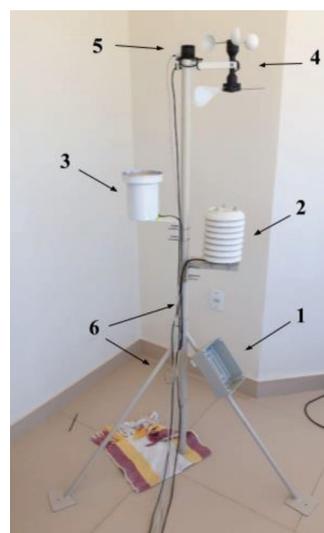


Fig. 10. Estação meteorológica automática desenvolvida

É possível visualizar na Fig. 10, a caixa vedada (1) que abriga toda a circuitaria da estação, cartão *MicroSD*, módulo *RTC* e a parte de energização da EMA; escudo protetor de radiação (2); pluviômetro (3); anemômetro com indicador de direção de vento (4); piranômetro (5); e a estrutura de aço (6).

E. Alimentação da EMA

Para funcionamento da estação, a mesma é alimentada por um banco de baterias 3.7 V que são ligadas em um módulo de carregamento TP4056, o qual está conectado à rede elétrica 220 V.

F. Processamento e Monitoramento de Dados

O programa de processamento de dados da EMA foi elaborado na plataforma Arduino IDE, sendo ilustrado na Fig. 11 o fluxograma de funcionamento geral do código. O tratamento de dados segue o padrão sugerido pelo *Guide to Instrumentals and Methods of Observation* da *World Meteorological Organization (WMO)*, No. 8, que apresenta padrões para coletas e tratamentos de dados, assim como padrões de utilização e desenvolvimento de alguns instrumentos meteorológicos. Após o processamento dos dados, os mesmos são gravados em um arquivo .txt e enviado para a plataforma de monitoramento remoto *ThingSpeak*, este processo é realizado a cada hora do dia. A Fig. 12 apresenta a interface de visualização dos dados na plataforma *ThingSpeak*.

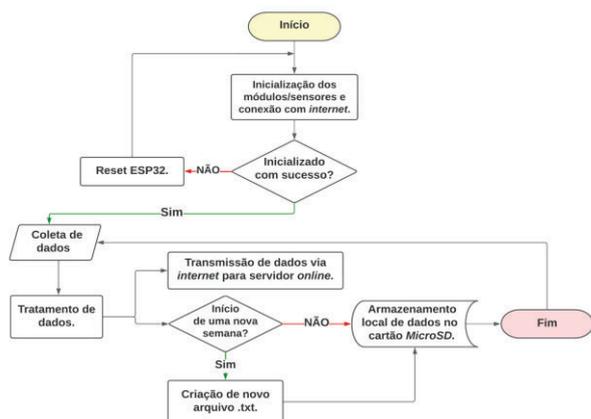


Fig. 11. Fluxograma geral de funcionamento da EMA desenvolvida.

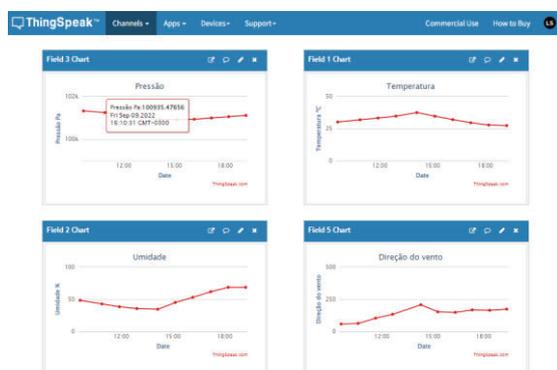


Fig. 12. Interface do usuário na plataforma *ThingSpeak*.

IV. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi desenvolvido uma estação meteorológica automática utilizando-se de sensores de baixo custo e algoritmos de correção aplicados aos sinais captados

que em conjunto são capazes de monitorar variáveis climáticas com precisão satisfatória em comparação com valores padrões para coleta destes tipos de variáveis. Utilizando-se do microprocessador ESP32 para processamento e transmissão de dados, e de sensores comerciais de baixo custo é possível construir um EMA e monitorar variáveis climatológicas de forma acessível, tornando a estação uma válida opção para aplicações na agricultura de precisão e fins acadêmicos por se utilizar dispositivos comerciais de fácil acesso e baixo custo. Para trabalhos futuros, pode ser implementado um sistema autônomo de energização e, como sugestão, realizar a calibração do piranômetro desenvolvido com um equipamento homologado para este propósito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a assistência e apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Grupo de Estudo e Pesquisa em Eletromagnetismo Aplicado e Comunicação (GEPEAT) e à equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-Ondas (LABMICRO) da UFERSA.

REFERÊNCIAS

- [1] B. P. SANTOS et al. *Internet das coisas: da teoria à prática*. 2016. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp. 68–73.
- [2] M. TSCHIEDEL and M. F. FERREIRA. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n.1, 2002, pp. 159-163.
- [3] EMBRAPA. Tecnologia em mecanização no Brasil: Equipamentos e sistemas para o futuro. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas-MG.
- [4] A. BRAGA, S. BRAGA, C. FERNANDES. Estações meteorológicas automáticas: relato de uma experiência com sensores independentes em bacia experimental. In: XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2011, pp. 1–16.
- [5] WMO (*World Meteorological Organization*). *Guide to Instrumentals and Methods of Observation - Volume I*. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 2018.
- [6] X. Lin, K.G. Hubbard, E. A. Walter-Shea. *Radiation loading model for evaluating air temperature errors with a non-aspirated radiation shield*. *Transl. ASAE* 44, 2001, pp. 1299–1306.
- [7] J. M. TARARA and G. HOHEISEL. *Low-cost shielding to minimize radiation errors of temperature sensors in the field*. *HortScience*, v. 42, n. 6, 2007, pp. 1372-1379.
- [8] J. F. S de PAULA. Confecção e análise de um piranômetro fotovoltaico de baixo custo. TCC - Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. Mossoró, RN, 2018. 11 p.