

LoRa wireless network-based system for agroclimatic monitoring applied to cotton farming

Sistema baseado em rede sem fio LoRa para monitoramento agroclimático aplicado a cotonicultura

Wagner Kenhiti Nakamura Junior¹, Mauricio Fernando Lima Pereira ¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança
Cuiabá-MT – Brasil – CEP: 78060-900

w31j.nakamura@gmail.com, mauricio@ic.ufmt.br

Abstract. *This paper presents a data collection system using the LoRa wireless network and WiFi for use in cotton farming. To do this, data collection stations were developed that use the Heltec WiFi LoRa 32 module to obtain and transmit data to a gateway using the LoRa network. A gateway was implemented that relays the data to a server via WiFi using the MQTT protocol. The server used Docker microservices to provide the MQTT broker, a database and the Node-Red tool. Laboratory tests were carried out to validate the proposed communication architecture, as well as the construction of printed circuits for each of the data collection devices, which show that the system is robust so far.*

Keywords: *LoRa, MQTT, Digital Agriculture, ESP32, Node Red*

Resumo. *Este trabalho apresenta um sistema de coleta de dados utilizando rede sem fio LoRa e WiFi focado para uso em cotonicultura. Para isso foram desenvolvidas estações coletoras que utilizam o módulo Heltec WiFi LoRa 32 para obter e transmitir dados a um gateway utilizando rede LoRa. Foi implementado um gateway que retransmite os dados a um servidor via WiFi por meio do protocolo MQTT. O servidor utilizou microsserviços Docker para disponibilizar o broker MQTT, uma base de dados e a ferramenta Node-Red. Foram realizados testes em laboratório para validação da arquitetura da comunicação proposta, bem como a construção de circuitos impressos para cada um dos equipamentos de coleta de dados, que demonstram que o sistema é robusto até o momento.*

Palavras-chave: *LoRa, MQTT, Agricultura Digital, ESP32, Node Red*

1. Introdução

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) é uma planta muito exigente em qualidade de solo, desenvolvendo-se melhor em condições bastante específicas. Em especial destaca-se a necessidade de alta fertilidade, propriedades físicas adequadas, solos bem drenados, estruturados e profundos [Brandão et al. 2014]. É uma cultura que possui um sistema radicular bem desenvolvido, sensível à acidez e com elevada demanda de nutrientes. Por tudo isso, torna-se necessário o monitoramento constante, correção e aplicação anual e adequada de fertilizantes para a manutenção de níveis de suficiência no solo e consequente obtenção de alta produtividade [Rosolem and Van Mellis 2010]. Economicamente, é uma cultura muito relevante, cultivada em 60 países, empregando 350 milhões

de pessoas, desde o plantio até a sua comercialização, passando por etapas como colheita, logística, descaroçamento, processamento e embalagem. É uma atividade que vem crescendo a cada ano em nível mundial e que com a previsão de elevação da renda e da população até o ano de 2050, demandará o aumento da produção [Hall et al. 2017]. O Brasil atualmente está entre os cinco maiores produtores mundiais de algodão, sendo o segundo maior exportador [Severino et al. 2019], com o estado de Mato Grosso (MT) sendo responsável por 70% da fibra de algodão produzida no país.

Por ser uma cultura altamente tecnificada e com muitas etapas no seu manejo, os produtores de algodão se deparam com desafios para garantir a competitividade enfrentando os mercados de fibras sintéticas, bem como altos custos envolvidos na produção devido aos insumos, maquinários pesados e implementos, assim como nos processos estabelecidos para a logística, armazenagem e minimização de perdas. O crescimento da produção e da área plantada no estado de MT é grande e com ele veio também uma série de desafios associados ao manejo e gestão das áreas produtivas de algodão em escala de propriedade, incluindo principalmente equipamentos para medição das condições de campo e demanda por ferramentas digitais, que possam auxiliar a tomada de decisão para o uso racional de insumos, controle de pragas e manejo cultural adequado baseado na gestão dos riscos agrícolas envolvidos.

Nesse contexto da cotonicultura, este trabalho visou desenvolver coletores de dados que permitiram a transmissão de dados usando transmissão sem fio de baixo consumo e que independam de infraestrutura comercial. Para isso desenvolveram-se módulos de transmissão baseados em redes LoRa, utilizando-se o módulo Heltec [Automation 2023] composto principalmente de um microcontrolador ESP32 e de um transmissor LoRa SX1276. Esses módulos foram inicialmente utilizados para coleta de dados de temperatura, de umidade, de pluviosidade e variáveis do solo, como elementos NPK, umidade e temperatura do solo e o nível de pH do solo. Esta é uma pesquisa que compõe um dos módulos do projeto PLACIMA (Plataforma Computacional Inteligente para apoio ao Manejo da cultura do Algodão), que conta com a participação do Instituto de Computação (IC) da UFMT, da Embrapa Instrumentação e da *startup* Cotton Agrosiences. O objetivo geral do projeto é desenvolver e validar uma plataforma de gestão da cadeia do algodão que utilize as tecnologias de *bigdata*, de mineração de dados, de inteligência artificial e processamento de alto desempenho focada no aprimoramento dos processos de gestão envolvidos na fase de plantio e na fase vegetativa da planta com vistas apoiar a tomada de decisão pelos cotonicultores. No contexto do projeto, esses equipamentos permitirão uma alocação de uma maior quantidade de sensores por talhão plantado, aumentando a precisão das informações e o volume de dados. Com isso pretende-se ter maior precisão dos algoritmos de inteligência artificial que serão desenvolvidos no projeto. Como principais vantagens dos equipamentos tem-se a autonomia para construção de sensores que se fizerem necessários, maior autonomia para recepção dos dados, o custo mais reduzido para sua produção, o longo alcance de comunicação proporcionado pela tecnologia LoRa e a não necessidade de infraestrutura celular para cobrir grandes distâncias.

Nesta etapa do trabalho focou-se em desenvolver dois módulos coletores de dados e um módulo *gateway* para exportação dos dados coletados. Os módulos conversam entre si utilizando o protocolo LoRa e o gateway envia os dados para um servidor remoto usando rede WiFi, através do protocolo MQTT. Para validação dos algoritmos de

envio/recepção, do hardware desenvolvido e da visualização de dados foram realizados testes nos laboratórios do grupo CAP do IC. Os sensores inicialmente utilizados foram o DHT22 (umidade/temperatura do ar), um pluviômetro de gangorra, sensores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio (NPK), pH, umidade e temperatura do solo embutidos em um único dispositivo que utiliza comunicação RS-485.

Nas próximas seções são abordadas a característica dos sensores e equipamentos utilizados, como foi implementada a integração dos dispositivos para armazenamento de dados na base de dados e os resultados iniciais obtidos.

2. Materiais e métodos

Nesta seção serão apresentadas algumas das tecnologias utilizadas neste trabalho, no qual buscou-se a otimização de custos e obtenção de resultados focados nos objetivos, principalmente desenvolver um sistema de baixo custo de coleta de dados que compõe parte de um outro sistema: a de análises de dados por meio de aplicação de modelos de inteligência artificial. Ademais, foi necessário considerar as condições de campo onde os equipamentos desenvolvidos nesse trabalho deverão ser instalados. Com o objetivo de fornecer uma visão geral dos componentes e de como se dá sua comunicação, apresenta-se o esquema da Figura 1, a qual mostra de forma simplificada quais são os dispositivos atuantes como transmissores de dados, como receptores de dados e o ponto de acesso, o qual permite a comunicação com servidores remotos.

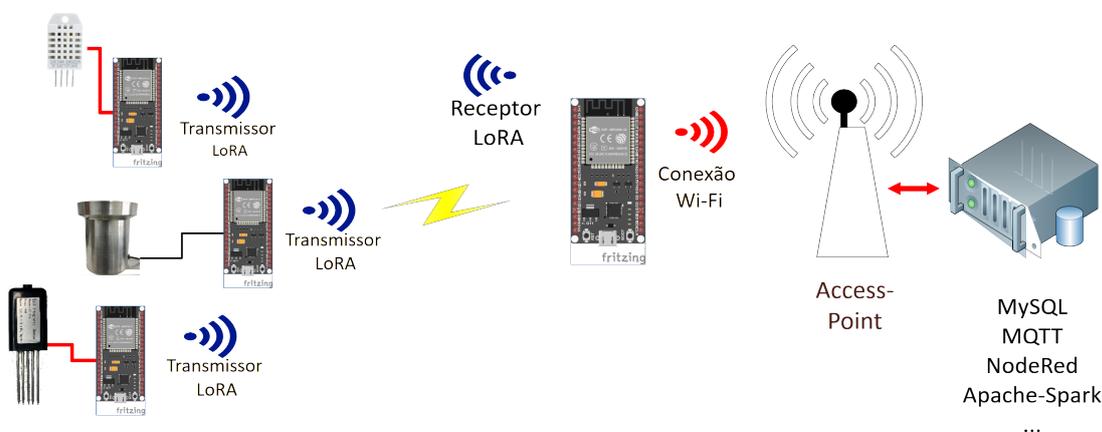


Figura 1. Esquema de conexão e comunicação das estações coletoras, gateways e sistema online de recepção e processamento de dados

A seguir apresenta-se os conceitos utilizados na construção do esquema da estrutura da Figura 1.

2.1. LoRa e LoRaWAN

LoRa (long-range) é uma tecnologia patenteada para comunicação sem fio que foi adquirida em 2012 pela Semtech Corporation [Raza et al. 2017][Queralta et al. 2019]. Utiliza frequências que não demandam licenciamento e no caso do Brasil, a frequência autorizada é a de 915 MHz. Uma das grandes vantagens do LoRa é a alta sensibilidade dos seus sensores e grande capacidade de seu link de comunicação, que permite transmissões a longas distâncias, podendo atingir até 15 km em campo aberto. Os níveis típicos de SNR

(*Signal-Noise Ratio*) ao utilizar-se fatores de espalhamento 10 e 12 na modulação LoRa são -20 dB e -15 dB, obtendo sensibilidades do receptor de -134 dBm e -129 dBm, respectivamente. Esses valores são pouco comparáveis à sensibilidade típica dos receptores WiFi ou Bluetooth, que geralmente está na faixa de -40 dBm a -80 dBm. Com essas vantagens, esses tipos de redes são utilizados principalmente com dispositivos que consomem pouco e que se conectam para envio de dados a longas distâncias [Nunes 2017].

De forma resumida, as principais propriedades da modulação LoRa são: (1) sua largura de banda e frequência escaláveis, permitindo fácil mudança de banda estreita para banda larga, (2) resistência ao deslocamento Doppler, (3) imunidade relativamente alta ao desvanecimento ou multipercurso, especialmente em cenários densos e (4) robustez à interferência.

2.2. Sistema Heltec WiFi LoRa 32

O dispositivo utilizado para controlar a coleta de dado e transmissão foi a versão da série Heltec WiFi LoRa 32 (Figura 2), designado e produzido pela empresa Heltec Automation com o propósito de desenvolvimento de sistemas embarcados. O equipamento se baseia em um chip LoRa SX1276 e um display OLED de 0,96 polegadas integrado a um microcontrolador ESP32. Destaca-se que o WiFi está incluso no módulo ESP32 e consequentemente ao Heltec WiFi LoRa 32. Devido a conexão WiFi se tornou possível a utilização de um único microcontrolador que pode desempenhar tanto a função de coletor de dados e transmissor quanto a de um módulo *gateway* - neste caso, recebendo dados via LoRa e enviando-os a um servidor via WiFi.



Figura 2. Módulo Heltec WiFi-LoRa v2 [Fonte:[Automation 2023]]

2.3. Sensores

Sensores são dispositivos que conseguem reconhecer alguma forma de energia do local em que se encontra, seja ela luminosa, térmica ou cinética. Devido à necessidade de conhecimento e gestão da situação de campo para permitir as melhores condições de desenvolvimento da planta, utilizam-se diferentes tipos de sensores os quais realizam diversas medidas, em geral com uma certa regularidade, para se procurar estimar qual o cenário atual. A seguir são apresentados alguns dos sensores utilizados ao longo do trabalho.

2.3.1. DHT 22 - Sensor de temperatura e umidade

O sensor DHT22 é um sensor de temperatura e umidade largamente utilizado em projetos de automação. Possui como principais benefícios o fato de ser pequeno, de baixo consumo

de energia e permitir que sua conexão cabeada com o microcontrolador seja de até 20 metros. Suporta trabalhar com tensões de 3,3V a 6V, e sua faixa de temperaturas pode variar de -40°C à 80°C com acurácia de 0.5°C. Os valores de umidade variam de 0% a 100% com acurácia de 2%. Cada sensor deste modelo é calibrado em uma câmara de calibração precisa e o coeficiente de calibração é salvo em tipo de programa na memória OTP (*One Time Programmable*).

2.4. Pluviômetro de báscula

O trabalho de medir a quantidade de chuva de algum local é feito por pluviógrafos ou pluviômetros. No pluviômetro utilizado nesse trabalho, o seu interior possui básculas que se assemelham a uma gangorra que altera sua posição com uma certa quantidade de água que pode variar. Internamente ele possui um sensor magnético, denominado Reed Switch, para detectar o movimento da gangorra, a qual tem um  m em seu topo [INFO 2018]. Quando o campo magnético gerado pelo  m passa próximo ao sensor, gera-se um pulso que pode ser utilizado para contagem do volume de chuva através de um microcontrolador, por exemplo. A Figura 3 ilustra o equipamento.

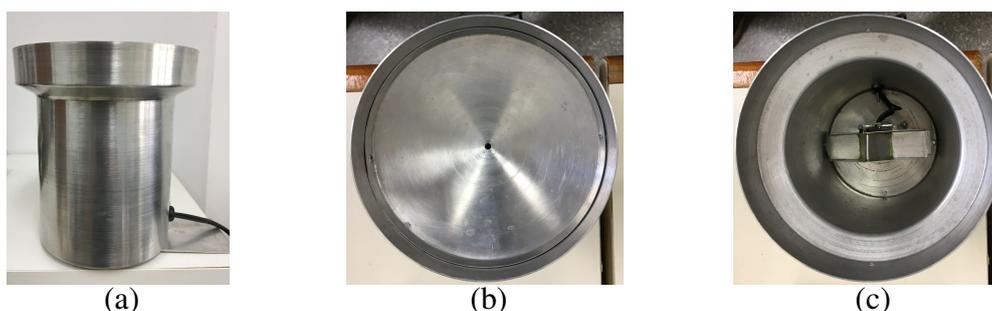


Figura 3. Pluvi grafo utilizados no projeto. (a) Visão lateral; (b) Visão superior, com funil inserido; (c) Visão superior, estrutura interna [fonte: Autor]

2.5. Sensor NPK

Para estimar a fertilidade do solo e quando necessário corrigir os elementos que o compõe, visando aumentar a sua fertilidade, é importante se ter diferentes medidas de elementos químicos do solo. Para a área agrícola, se destacam os teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) do solo, bem como sua acidez e umidade. Conhecer essas medidas ajudam a determinar se há deficiência ou abundância nutricional.

Existem diversas técnicas para medir o conteúdo desses nutrientes e estimar o pH, umidade ou a condutividade do solo. Algumas delas fazem uso de alguns sensores . Neste trabalho, utilizamos o sensor JXCT Soil NPK, mostrado na Figura 4, para detectar esses elementos no solo.

Ele traz como vantagem o fato de ser portátil, de baixo custo, resposta rápida, alta precisão e que funciona usando o barramento RS485. Além disso, diferentemente do método de detec o tradicional, ele fornece medi es muito rápidas quando se utiliza o ESP32 e os dados são altamente precisos, bastando apenas inserir a sonda no solo e programar o intervalo de leituras. O sensor trabalha com tensões que variam de 12 a 24V e o consumo de energia é baixo. A resolu o de medi o de nitrogênio, fósforo e potássio   de até 1mg/kg (mg/l)



Figura 4. Sensor de Solo NPK

2.6. Node Red e Mosquitto

Atualmente pertencendo a *OpenJS Foundation*, o Node-RED foi desenvolvido pelo time da IBM, a *Emerging Technology Services* no ano de 2013. A princípio, a ferramenta teve o intuito de visualização e manejo de mapas de programação baseado em fluxo entre tópicos do MQTT. Entretanto, nos dias de hoje se mostra uma ferramenta que foi além desta única funcionalidade planejada. Considerando que sua execução é baseada em Node.js, o Node-RED pode ser facilmente acessado e manipulado por meio de um navegador, possibilitando criar fluxos num plano de trabalho utilizando "nodes", como é chamado dentro do próprio Node-RED, e conectando-os [Foundation 2023].

Sendo um padrão OASIS destinado a fim de conectar os diferentes dispositivos de uma *Internet of Things* (IoT), o MQTT segue um protocolo de envio de mensagens simplificados e leves no modelo publicação/inscrição. As características do protocolo MQTT encaixam-se nas necessidades de transmissão de uma aplicação IoT, ressaltando uma em específico: a necessidade de uma baixa largura de banda [MQTT 2023b]. A Figura 5 apresenta a arquitetura do MQTT.

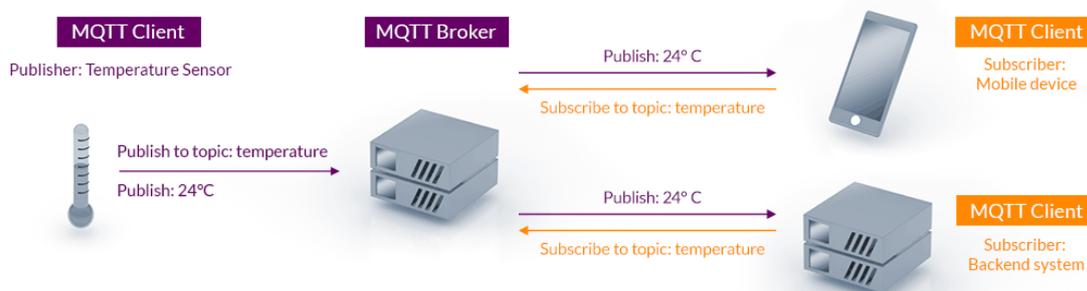


Figura 5. Arquitetura do protocolo MQTT

Já o Eclipse Mosquitto, projeto dirigido pela empresa Cedalo, é uma aplicação do protocolo MQTT, isto é, sua função é de fazer o roteamento entre os publicadores e os inscritos - ser um *broker* de mensagem. O *broker* tem a responsabilidade de receber as mensagens dos dispositivos que publicam em tópicos específicos e encaminhá-las aos dispositivos inscritos naquele mesmo tópico específico [MQTT 2023a].

2.7. Estrutura do hardware e do firmware da estação coletora

Na construção do hardware de cada estação coletora optou-se por duas diferentes configurações de estações: na estação do tipo 1 conectou-se ao ESP32-Lora um sensor DHT22, um pluviômetro de balsa e um módulo *Real Time Clock*(RTC) DS3231

usado para obter os instantes de coleta. Esses dispositivos foram conectados às portas do sistema Heltec WiFi Lora 32 como ilustra o projeto esquemático da Figura 6.

Na estação de coleta do tipo 2 foi conectado ao ESP32 o mesmo RTC, um sensor JXCT Soil NPK, para coletar amostras e quantificar o valor dos índices de NPK do solo. A troca de dados entre o ESP32 e o sensor se deu através de uma MAX485.

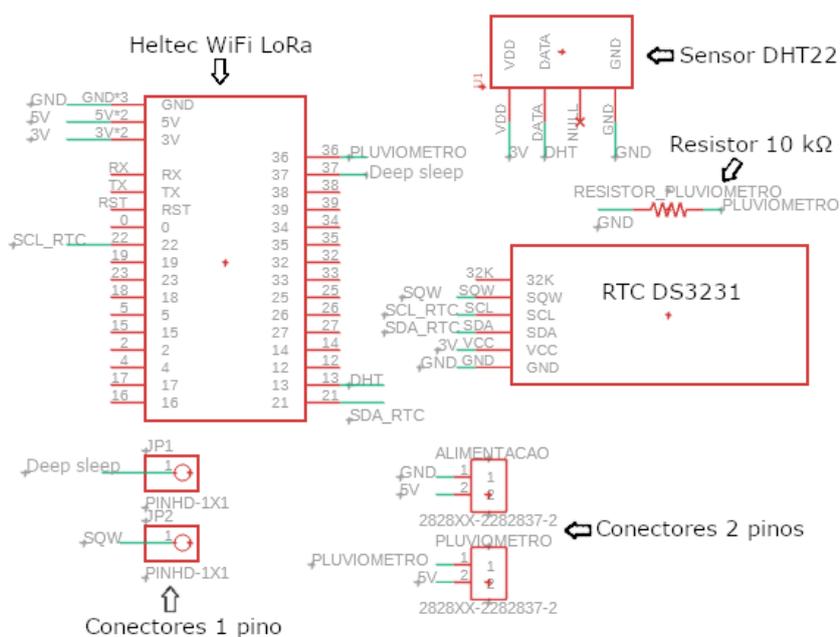


Figura 6. Esquemático para a estação de coleta 1

Na construção do *firmware* de ambas as estações de coleta, permitiu-se que a amostragem pudesse ser ajustada conforme a necessidade do usuário. Os equipamentos implementaram um *buffer* de armazenamento de informações que guarda os dados coletados até que se preencha todo o *buffer*, o que ativa o envio para o *gateway*. Nos testes a política de envio de dados dos dispositivos de coleta foi fixada em envios para o *gateway* a cada 10 amostras de dados. No entanto, no caso do pluviômetro, se interrompe o equipamento sempre que um novo pulso da báscula é detectado. Nele, os pulsos ocorrem quando a báscula atinge um volume de aproximadamente 0.25 mm de chuva, o que a movimenta e gera um sinal de 3,3V na porta do ESP32. Esse sinal foi configurado para interromper a execução do microcontrolador e fazer a gravação do instante do pulso dentro do *buffer*. Dessa forma pode-se saber não só quanto choveu, mas como foi a distribuição da chuva ao longo do tempo. A rede WiFi e Bluetooth dessas estações permanecem sempre desligadas para evitar o consumo desnecessário de energia.

Já o módulo *gateway* foi programado para receber dados a todo instante, desempacotar a informação recebida, checar o tipo de dado e de qual estação está sendo enviado. Ao receber cada dado de uma estação, ele reenvia, via rede sem fio, para um servidor MQTT que se encarregará de tratar a informação e inseri-la na base dados. Logo após receber os dados, o *gateway* confirma a chegada das informações ao módulos que enviaram, afim de evitar que novos reenvios ocorram. Dessa forma, os dados das estações trafegam através de duas diferentes estruturas de redes para chegar a base e permitir a consulta de

dados e visualização de informações.

A partir do projeto do hardware foi construída uma placa PCB que acomodou os sensores de DHT e de pluviosidade. O equipamento foi gerado a partir de uma placa de fenolite e uma Mini Fresadora CNC que utilizou uma fresa de gravação flat 20° e com 0,3mm de diâmetro. Depois disso, foram adicionados conectores para inserção dos sensores, do RTC e do sistema de alimentação, que inicialmente foi uma fonte estabilizada de 5V.

3. Resultados

Para recepção dos dados transmitidos, foi implementado um servidor virtualizado utilizando Docker com os seguintes microsserviços: (1) Broker MQTT utilizando o Eclipse Mosquitto e sessão autenticada para evitar que outros dispositivos pudessem enviar dados ao servidor (2) Node-Red para tratamento dos dados enviados do módulo *gateway* via protocolo MQTT (3) MySQL versão 8 para gerenciamento dos dados recebidos.

Na Figura 7 é apresentado o fluxo estabelecido para tratar os dados da estação de coleta 1 com os sensores DHT e pluviosidade. Os pacotes de dados são recebidos como uma única mensagem MQTT e a partir delas se extrai qual é o ID da estação que enviou, qual as informações de temperatura, umidade e instantes em que o pluviômetro registrou um movimento na balsa. Depois de separados, os dados são armazenados na estrutura de tabelas que foram organizadas para guardar as informações.

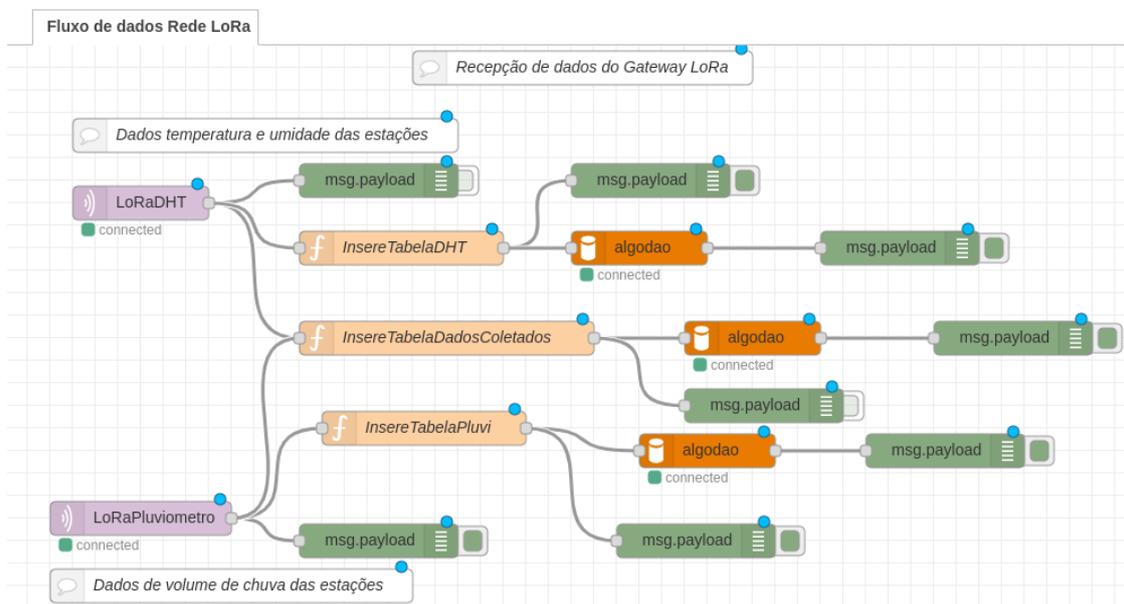


Figura 7. Fluxo de dados no Node-Red estabelecido nessa etapa do trabalho para tratamento dos dados recebidos da estação *gateway*

Como resultado da utilização do método de fresagem de uma PCB obteve-se um dispositivo onde todos os componentes estão conectados e que depois de inseridos em uma caixa com proteção contra poeira e chuva, poderá ser levada a campo. A Figura 8 apresenta o equipamento com todos os componentes acoplados. Após os primeiros testes do equipamento realizando coleta de dados em laboratório, observou-se que o fluxo de

dados da rede LoRa para WiFi conseguiu capturar todos os dados e identificar de qual estação os dados foram enviados.

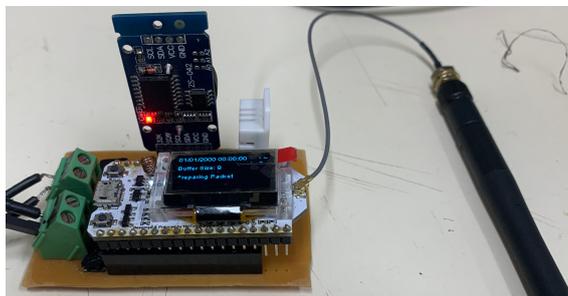


Figura 8. Estação de Coleta 1 com todos os componentes conectados

Após os testes do equipamento realizando coleta de dados no ambiente de laboratório, observou-se que não ocorreram erros de identificação e separação das informações após a entrega de dados por parte da estação de coleta do tipo 1. Parte disso se deve a proximidade entre as estações, o que reduz a perda.

Para analisar e visualizar os dados enviados desenvolveu-se um script Python, utilizando-se as bibliotecas NumPy, Matplotlib e o Pandas. Depois de conectado ao banco foi possível gerar gráficos de temperatura e umidade, tal como mostrado na Figura 9.

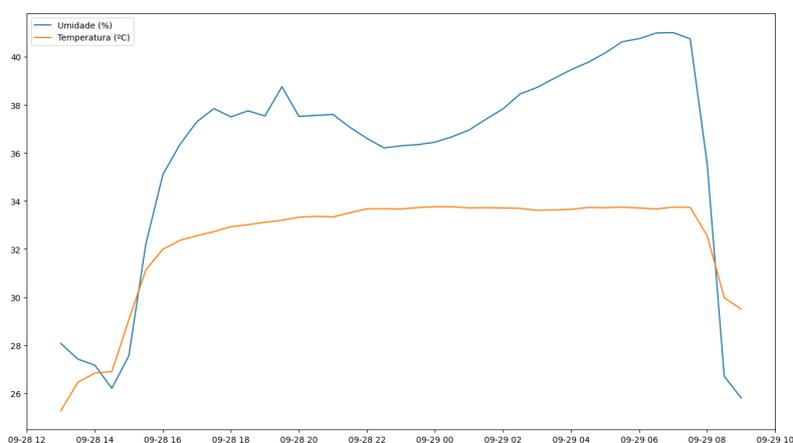


Figura 9. Gráfico gerado a partir dos dados gerados pela estação de coleta 1

4. Conclusões e próximos passos

Analisando os objetivos e os propósitos do projeto, observa-se que parte deles já foi concluída com a validação da entrega remota de dados, utilizando as redes LoRa e WiFi combinadas. As estações coletoras e o *gateway* conseguiram desempenhar suas respectivas funções e futuramente será possível realizar alguns testes em campo e verificar a robustez da comunicação.

Nos testes com o sensor DHT22 e de medição de volume de chuva, os dados foram entregues corretamente. Já nos testes com o sensor NPK ocorreram falhas de captura dos dados, causados por falhas no sensor, que aparentemente precisará ser substituído devido a problemas de comunicação.

Os microsserviços Docker mostraram-se robustos e deverão ser reutilizados na próxima etapa do trabalho, na qual será implementado um *gateway* utilizando um Raspberry Pi 3 combinado com o LoRa HAT Frequency Band SX1268. Nessa plataforma se implementará um receptor LoRa e os microsserviços de Broker MQTT, Node-Red e base de dados MySQL, permitindo que toda a captura ocorra em campo, sem obrigatoriedade de haver uma rede WiFi. Também ocorrerá na próxima etapa a construção de abrigos e instalação do equipamento numa fazenda de plantio de algodão, em experimento conjunto com a Embrapa Instrumentação e a Cotton Agrosience.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à UFMT pelo apoio financeiro ao projeto.

Referências

- Automation, H. (2023). Wifi lora 32. Disponível em <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>. Acesso em 27/08/2023.
- Brandão, Z. N., Zonta, J. H., and Ferreira, G. B. (2014). Agricultura de precisão na cultura do algodão. In BERNARDI, A., NAIME, J., RESENDE, A., and BASSOI, L., editors, *Agricultura de precisão: Resultados de um novo olha*, Brasília-DF. Embrapa.
- Foundation, O. (2023). Flow-based programming. Disponível em <https://nodered.org/about>. Acesso em 16/09/2023.
- Hall, C., Dawson, T. P., Macdiarmid, J. I., Matthews, R., and Smith, P. (2017). The impact of population growth and climate change on food security in africa: looking ahead to 2050. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(2):124–135.
- INFO, E. U. (2018). Pluviômetro Arduino - Um sensor de chuva para estação meteorológica.
- MQTT (2023a). Eclipse mosquitto™ an open source mqtt broker. Disponível em <https://mosquitto.org>. Acesso em 16/09/2023.
- MQTT (2023b). Mqtt: The standard for iot messaging. Disponível em <https://mqtt.org>. Acesso em 16/09/2023.
- Nunes, B. (2017). Introdução a lora, nb-iot e sigfox. Disponível online em <https://www.embarcados.com.br/lora-nb-iot-e-sigfox/>.
- Queralta, J. P., Gia, T. N., Zou, Z., Tenhunen, H., and Westerlund, T. (2019). Comparative study of lpwan technologies on unlicensed bands for m2m communication in the iot: Beyond lora and lorawan. *Procedia Computer Science*, 155:343–350.
- Raza, U., Kulkarni, P., and Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2):855–873.
- Rosolem, C. A. and Van Mellis, V. (2010). Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 34:1601–1607.
- Severino, L., Rodrigues, S., Chitarra, L., Lima Filho, J., Contini, E., Mota, M., Marra, R., and ARagão, A. (2019). Algodão-parte 01: Caracterização e desafios tecnológicos. *Embrapa Algodão-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE)*, page 29.