



Sensoriamento de umidade do solo com sensor capacitivo e comunicação de dados sem fio baseada em tecnologia LoRa

Soil moisture sensing with capacitive sensor and wireless data communication based on LoRa technology

Ana Julia Bertonha*, Luís Fernando Caparroz Duarte†

RESUMO

Visando colaborar com o progresso da agricultura sustentável de pequenos produtores rurais, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de umidade do solo que faz uso de sensor capacitivo e transmite a informação de forma sem fio, usando tecnologia LoRa, para um ponto de recepção com interface homem-máquina simplificada. Ao analisar os dados adquiridos a partir do monitoramento da umidade do solo, o sistema informa ao usuário se o solo precisa ou não ser irrigado, acionando diodos emissores de luz com cores universais: verde e vermelho. Durante o trabalho foi desenvolvido um protótipo utilizando kit de desenvolvimento microcontrolado baseado no microcontrolador MSP430, com o qual foram realizados os ensaios. Os resultados apresentados atestam o correto funcionamento de um sistema cuja utilização pode propiciar o uso da água de forma consciente e racional.

Palavras-chave: Sensor Capacitivo, Microcontrolador, Comunicação LoRa, Agricultura sustentável.

ABSTRACT

In order to collaborate with the progress of sustainable agriculture by small rural producers, this work presents the development of a soil moisture monitoring system that uses a capacitive sensor and transmits information wirelessly, using LoRa technology, to a receiver with simplified human-machine interface. By analyzing the data acquired from the soil moisture sensor, the system informs the user whether the soil needs to be irrigated or not, activating light-emitting diodes with universal colors: green and red. During this work, a prototype was developed using a microcontrolled development kit based on the MSP430 microcontroller, with which the tests were carried out. The presented results attest to the right functioning of a system with which is possible to provide the use of water in a conscious and rational way.

Keywords: Capacitive Sensor; Microcontroller, LoRa Communication, Sustainable agriculture.

1 INTRODUÇÃO

Dentre muitos apontamentos da literatura, CHRISTOFIDIS et al. (1999) define a irrigação como um conjunto de técnicas com o objetivo de deslocar a água para uma região específica para poder corrigir a distribuição natural das chuvas. Para o sucesso das atividades agrícolas, deve-se controlar a umidade do solo com o objetivo de garantir o melhor aproveitamento da água para as culturas, especialmente em períodos de estresse hídrico, que o Brasil vem enfrentando cada vez mais. Em agriculturas de pequeno porte, como em

* Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil;
anabertonha@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio; lfduarte@utfpr.edu.br



hortaliças e frutas, o cuidado com a umidade do solo é primordial para garantir que a produção e a renda sejam boas para o pequeno produtor (BAYER et al., 2013). Neste contexto, os processos de irrigação estão sendo cada vez mais utilizados em propriedades rurais que buscam aumento de produtividade e um meio de utilizar o recurso hídrico de maneira sustentável e consciente (SANTOS; MENDES, 2010). O uso de sistemas de irrigação avançados proporciona um melhor aproveitamento da água e possibilita minimizar seu desperdício.

Atualmente, os modernos sistemas de irrigação envolvem alta tecnologia e precisão, mas apresentam elevados custos, o que dificulta sua aquisição por pequenos produtores rurais.

Observando a produção de pequenos produtores rurais, nota-se que muitos fazem o manejo da água na irrigação de pomares e hortaliças usando sistemas temporizadores, que controlam motobombas com base em temporização arbitrária e não possuem mecanismos para mensurar a umidade do solo. Sem uma forma de medir a quantidade de água necessária para a irrigação, é possível que estes produtores estejam usando mais água que o necessário? Neste cenário, a utilização de um sistema para indicar o estado de umidade do solo é de grande relevância, pois permite que com uma rápida verificação seja possível uma tomada de decisão sobre o uso da água de forma consciente e racional.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema que possibilite a um operador verificar através de cores com significado universal: verde e vermelho, se o solo monitorado a distância precisa ou não ser irrigado. Para isto, o sistema deve interpretar sinais elétricos proporcionais à condição de umidade do solo, fazer a conversão destes sinais elétricos analógicos para valores digitais e realizar a comunicação sem fio utilizando-se o protocolo *Long Range* (LoRa) do ponto de sensoriamento para o ponto de apresentação da informação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do sistema usou-se o sensor capacitivo de umidade do solo modelo SEN0193. Seu funcionamento baseia-se na alteração da capacitância proporcional ao nível de umidade do solo, gerando um valor analógico de tensão em sua saída. Este sensor utiliza dois eletrodos localizados em uma placa de circuito impresso, separados por uma distância fixa e isolados eletricamente. Ele opera enterrado no solo, de forma que no espaço existente entre os eletrodos o solo atua como o dielétrico, possibilitando medir a variação da capacitância em função da umidade presente no solo monitorado entre os eletrodos e permitindo definir quando o solo está úmido e quando está seco. (GUIMARÃES, 2019).

O processamento dos dados provenientes do sensor de umidade do solo, a comunicação com o sistema de transmissão de dados sem fio e o acionamento dos LEDs foi realizado pelo microcontrolador MSP430FR5994, que possui características de baixo consumo de energia e baixo custo, fornecido pela empresa Texas Instruments e disponibilizado através do kit de desenvolvimento microcontrolado MSP-EXP430FR5994 LaunchPad. Este microcontrolador conta com diversos periféricos como: temporizadores, módulos de comunicação serial, conversores analógico-digitais, osciladores internos, entre outros (TEXAS INSTRUMENTS, 2019). Neste trabalho, usou-se os periféricos de comunicação serial Universal Assíncrona Receptor/Transmissor (UART) e Conversor Analógico-Digital (ADC), além das portas de entrada e saída.

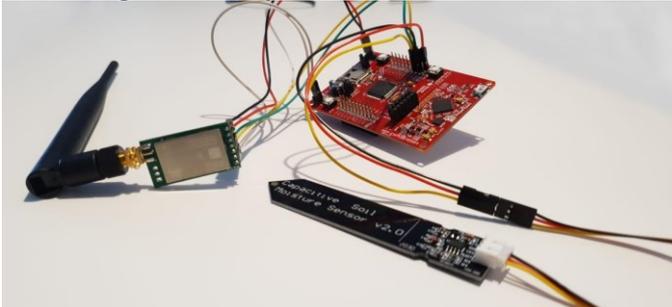
Utilizou-se para a comunicação sem fio o módulo transceptor LoRa E32-915T20D, que opera na faixa de frequência de 900~931 MHz e possui modulação por espalhamento espectral de chirp. Segundo a empresa EBYTE, fabricante do módulo E32-915T20D, a distância de comunicação é de até 3000 metros em campo aberto (EBYTE, 2018). Este módulo possui quatro modos de operação sendo eles o modo *normal*, *wake-up*, *power saving* e *sleep*, o que permite que o módulo permaneça em modo de baixo consumo de energia enquanto não estiver transmitindo ou recebendo dados. Neste trabalho foi utilizado apenas o modo normal para realizar



as operações de transmissão de dados, de forma que todas as informações recebidas através da comunicação serial UART são passadas diretamente para o sistema de rádio, que não entra em modo de baixo consumo.

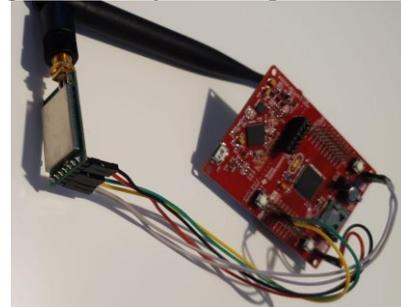
A Figura 1 ilustra o conjunto transmissor, composto pelo sensor capacitivo de umidade do solo, o MSP-EXP430FR5994 LaunchPad e o módulo de rádio LoRA E32-915T20D. A Figura 2 ilustra o conjunto receptor, composto pelo MSP-EXP430FR5994 LaunchPad e o módulo de rádio LoRA E32-915T20D.

Figura 1 – Conjunto transmissor dos dados



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 2 – Conjunto receptor dos dados



Fonte: Autoria própria (2021).

O funcionamento do sistema se dá a partir da alimentação do LaunchPad, feita através de uma porta de entrada padrão USB de $5V_{DC}$, que fornece energia para o MSP430FR5994 e para os outros dispositivos.

Uma vez energizado, o sistema inicia sua operação fazendo a leitura da tensão de saída do sensor capacitivo de umidade do solo, cujo valor de tensão é inversamente proporcional a umidade relativa do solo, ou seja, quanto mais úmido o solo, menor a tensão de saída no sensor. O sensor SEN0193 funciona com tensão de alimentação entre $3,3V_{DC}$ e $5V_{DC}$ e mesmo quando alimentado com tensão de $5V_{DC}$ sua saída não apresentou valores superiores a $3V_{DC}$, o que permitiu seu uso ligado a saída do sensor diretamente a entrada de do conversor analógico-digital do MSP430FR5994, de 12 bits de resolução, cujo fundo de escala adotado foi de $3.3V_{DC}$.

Uma vez definida a configuração do periférico de conversão analógico-digital, fez-se a verificação da leitura do sensor, comparando com a resposta do ADC. Empiricamente, observou-se que o sensoriamento de uma amostra de solo seco apresentou $2,8V_{DC}$ na saída do sensor, equivalente ao valor de 3500, resultante da conversão AD. Também foi observado que o sensoriamento da mesma amostra de solo encharcado apresentou $1,4V_{DC}$ na saída do sensor, equivalente ao valor de 1689, resultante da conversão AD. Baseando-se nestes valores, foi adotado o valor 2048 na saída do ADC como nível de comparação para definição da necessidade de irrigação ou não do solo. Para valores de leitura do ADC igual ou acima de 2048 o sistema indica solo seco, com necessidade de irrigação, acionando o LED vermelho. Para valores de leitura do ADC abaixo de 2048 o sistema indica solo úmido, sem necessidade de irrigação, acionando o LED verde.

Em seguida, o resultado da medição da umidade do solo convertido em valor digital pelo ADC é formatado em código ASCII para ser transmitido utilizando o transceptor LoRa através da comunicação serial UART. Essa transmissão foi configurada para operar com o *baud rate* de 9600 bits por segundo em modo de comunicação *Half-Duplex*, na qual o módulo pode operar tanto como transmissor, quanto como receptor, entretanto não é possível transmitir e receber dados ao mesmo tempo. Sendo assim, para realizar a comunicação serial foi realizada uma codificação ASCII em formato de 8 bits, na qual a variável que contém a quantidade de bits que representa a umidade do solo foi reescrita em 4 dígitos: milhar, a dezena, a centena e a unidade, seguidos dos caracteres *line feed* (LF) e *carriage return* (CR) para indicar o fim da transmissão.

A passagem de informações entre dois módulos pelo módulo LoRa necessita do preenchimento de um cabeçalho de apenas 3 bytes a serem incluídos antes dos dados. Os 2 primeiros bytes informam o endereço do

módulo que deve receber a informação e o 3º byte informa o canal (faixa de frequência) em que o receptor está sintonizado. O canal definido para comunicação foi o canal 15, centralizado em 915 MHz.

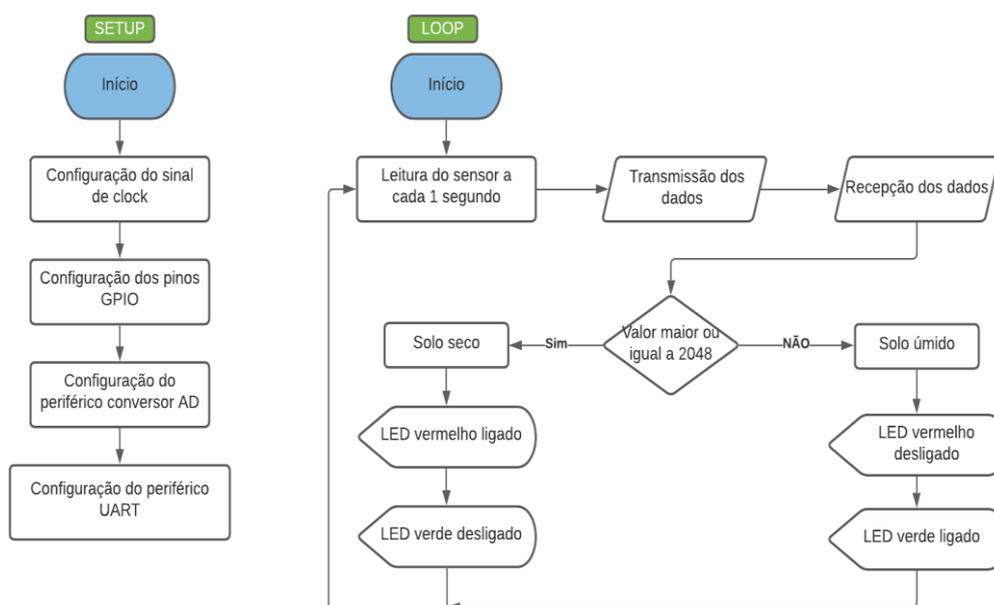
Nos módulos de rádio LoRa foram realizadas as configurações dos pinos M0 e M1, ambos com os valores em nível lógico baixo, para que fosse possível ativar o modo normal em que a comunicação sem fio é habilitada e dessa forma poder enviar os dados do transmissor para o receptor que estiver a até 3000 metros de distância.

Ao receber a informação, o módulo receptor realiza a decodificação dos caracteres ASCII recebidos e armazena o valor decodificado para ser processado. Se o valor recebido for igual ou superior a 2048, o sistema indica solo seco e aciona o LED vermelho. Se o valor recebido for inferior a 2048, o sistema indica solo úmido e aciona o LED verde. As cores adotadas para os LEDs possuem significado universal, e foram escolhidas com a pretensão de que o funcionamento do sistema fosse intuitivo para o operador. Dessa forma, os LEDs contidos no kit de desenvolvimento representam uma interface de usuário simples, ou seja, não é preciso alto conhecimento tecnológico para fazer uso deste sistema.

O sistema foi programado para realizar um *loop* contínuo no qual a cada 1 segundo o transmissor faz a leitura do sensor de umidade do solo, processa e envia a informação para o receptor via comunicação LoRa. Por sua vez, o receptor recebe a informação, decodifica, processa e apresenta o resultado com o acionamento dos LEDs.

A Figura 3 apresenta o fluxograma do código de programação desenvolvido através do *software* Code Composer Studio (CCS) da Texas Instruments. Neste fluxograma consta o funcionamento básico de como foi elaborada a parte programável do sistema, utilizando-se da linguagem de programação C.

Figura 3 – Fluxograma do código de programação



Fonte: Autoria própria (2021).

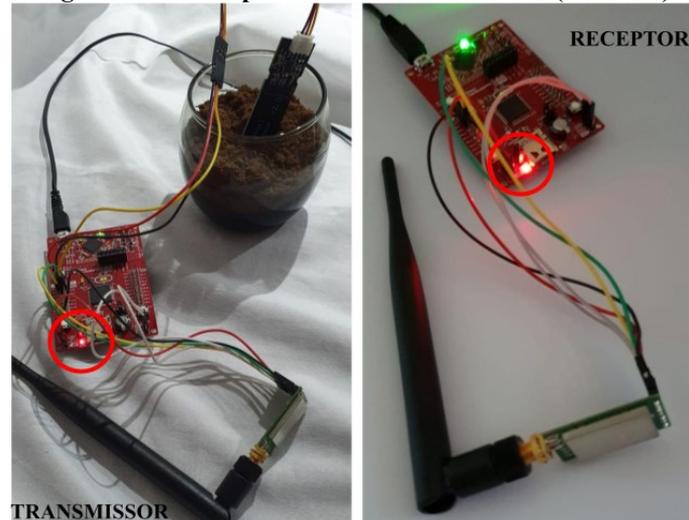
3 TESTE DO SISTEMA E RESULTADOS OBTIDOS

Para o teste do sistema foi providenciado uma amostra de solo em um recipiente de vidro. Inicialmente a amostra apresentava característica de solo seco, tendo sido retirada da superfície da terra em um dia seco.

O sensor de umidade do solo foi fincado na amostra de solo e o sistema foi acionado estando o conjunto receptor a poucos metros do conjunto transmissor. Como resultado, tanto o transmissor quanto o receptor apresentaram o LED vermelho aceso. Em seguida foi adicionado água na amostra de solo. O resultado observado foi que tanto o transmissor quanto o receptor apresentaram o LED verde aceso.

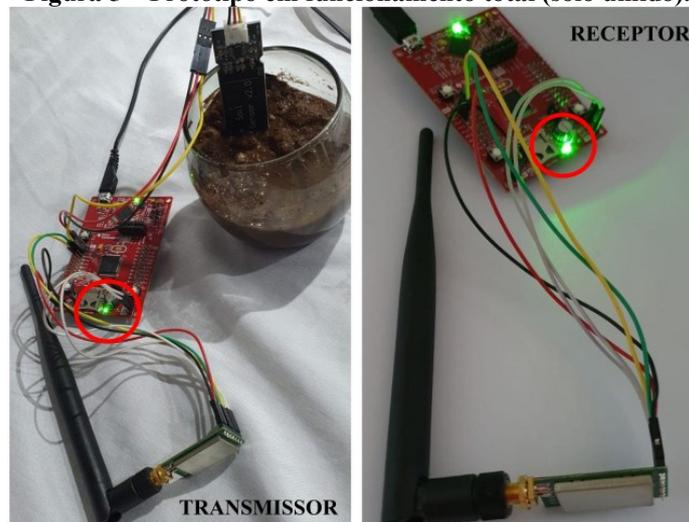
As Figuras 4 e 5 apresentam as fotos tiradas no teste do sistema.

Figura 4 – Protótipo em funcionamento total (solo seco).



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 5 – Protótipo em funcionamento total (solo úmido).



Fonte: Autoria própria (2021).

4 CONCLUSÃO

Após a realização dos testes, conclui-se que o sistema funcionou corretamente, sendo possível identificar se o solo estava ou não úmido através de uma interface de fácil interpretação. Os resultados obtidos validam o sucesso do sistema projetado, uma vez que estes foram adquiridos de acordo com o proposto no objetivo.



Através deste trabalho foi possível realizar o sensoriamento da umidade do solo via sensor capacitivo e a comunicação sem fio baseada em protocolo LoRa. Destaca-se que esta interação com o meio agrícola desde a aquisição de dados, passando pelo processamento dessas informações e posterior utilização da tecnologia LoRa para fazer a comunicação dos dados, mediante visualização em interface de fácil uso para o usuário, auxiliou no aprendizado do desenvolvimento de sistemas embarcados e possibilitou a experimentação prática de um sistema dotado de comunicação sem fio baseado em protocolo LoRa.

Ainda que não tenha sido feita uma calibração ou um estudo mais aprimorado sobre um valor ideal para identificação de solo úmido ou seco, este projeto se mostrou útil e pode servir de base para o desenvolvimento de sistemas mais complexos, que podem fazer uso de outros sensores e atuadores para contribuir ainda mais com o desenvolvimento da agricultura sustentável.

A iniciação científica, aplicada a problemas da humanidade, como promover a agricultura sustentável, além de contribuir com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU, permite ao aluno adquirir novos conhecimentos e desenvolver na prática o conteúdo que foi absorvido, gerando habilidades que possam vir a contribuir para o mercado de trabalho e conseqüentemente para a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) por todas as oportunidades de aprendizado e pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- BAYER, A; MAHBUB, I.; CHAPPELL, M.; RUTER, J.; IERSEL, M. **Water Use and Growth of Hibiscus acetosella ‘Panama Red’ Grown with a Soil Moisture Sensor-controlled Irrigation System**. HortScience, vol. 48, 980-987, 2013.
- EBYTE. **E32-915T20D**. Disponível em: <https://www.ebyte.com/en/product-view-news.html?id=131>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- GUIMARÃES, Fábio (ed.). **Sensor de umidade capacitivo para solo**. 2019. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/sensor-de-umidade-capacitivo-para-solo>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- SANTOS, A. R. dos; MENDES, C. I. C. **O Pequeno Agricultor e o Uso de Tecnologias da Informação**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/868655/1/p056.pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.
- TEXAS INSTRUMENTS. **MSP430FR5994 LaunchPad™ Development Kit (MSP-EXP430FR5994)**. 2019. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ug/slau678b/slau678b.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.