

CONTROLE DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS E CONCEITOS DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Arthur da Silva Kuke¹; Lucas Gaspar Vettorazzo¹; Wânderson de Oliveira Assis²;
Alessandra Dutra Coelho²; Fernando de Almeida Martins³

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

³ Engenheiro do Centro de Pesquisas (CP-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado visando futura implementação de algoritmo baseado em rede neural para desenvolver um sistema de irrigação inteligente. Para isso, utilizam-se dados de sensores que captam variações climáticas, umidade e temperatura do ar, bem como valores de detectores de umidade do solo dispostos em posições estratégicas e em diferentes níveis de profundidade. A partir dessas informações, realiza-se o acionamento das válvulas otimizando o uso de água em áreas da plantação. O controle é feito por meio de uma interface Web a qual comunica-se com um sistema microcontrolado via protocolo LoRaWANTM. A plataforma desenvolvida permite o monitoramento e controle remoto utilizando Internet das Coisas e viabiliza a implementação de rede neural artificial a partir dos dados de medição dos sensores e variáveis atmosféricas. Isso confere inteligência ao sistema, possibilitando o controle dos dados de vazão e intervalos de tempo adequados para a irrigação.*

Introdução

O crescente avanço de conectividade, decorrente de um mundo cada vez mais globalizado e interligado, propulsiona demandas por soluções rápidas e eficazes em diversas áreas. Nesse contexto, aplicações baseadas em IoT (*Internet of Things*) ganharam popularidade e continuam a expandir. O seu conceito é embasado em quatro principais componentes: estrutura física, aquisição, processamento e análise de dados. Dentre os principais ganhos em sua utilização, pode-se destacar a resolução de problemas, aumentos na produtividade e redução de custos nos processos. Setores de varejo, segurança, cidades inteligentes (*smart cities*) e agricultura, por exemplo, empregam diversas soluções de IoT (Farooq et al., 2019).

Nos últimos anos o setor da agricultura de precisão tem recebido um grande impulso de atividade, criatividade e capital de empresas, fruto do progressivo investimento em tecnologias interconectadas. Novidades que envolvem a presença de sensores, atuadores e dispositivos que possibilitam ao agricultor coletar e analisar dados em tempo real. Inovações que não trazem apenas esses benefícios, mas, também colaboram na otimização de recursos contra desperdícios na produção, falta de água e custo de manutenção. De acordo com Zapparoli (2020): “O último Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostrou que 1,5 milhão de produtores rurais acessam dados por meio de dispositivos eletrônicos, número 1.900% superior ao de 10 anos atrás, o que revela boa adesão às soluções digitais.”

Nessas aplicações há múltiplos microcontroladores que monitoram processos na agricultura. Eles são responsáveis pelo controle e comunicação entre operações da rede. As suas transmissões são realizadas por protocolos de comunicação, os quais coletam e armazenam os dados do plantio. A maioria deles estão relacionados com tecnologias conectadas a rede de “*Internet*”, como Wi-Fi, Sigfox e LoRaWanTM (Boyadjian et al., 2019) (Dias et.al, 2019) (Teixeira e Almeida, 2017) (Zhao et al., 2017).

Com toda essa variedade tecnológica, umas das tarefas mais importantes envolve análises preditivas. Nelas, o processamento e exploração dos dados da agricultura podem ser realizados por redes neurais que, por sua vez detectam padrões e efetuam previsões. Desse modo, aplicações em pequenos e grandes plantios otimizam diversos recursos de maneira inteligente e com mínima interferência do ser humano (Maia et al., 2017) (Santos et al., 2017).

Segundo Zapparoli (2020): “Embora muito ainda precise ser feito no país em termos de infraestrutura de conexão e interoperabilidade — os maiores obstáculos para inclusão da agricultura brasileira na era do 4.0 — a transformação digital no campo está em curso.”

Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver, testar e implementar um sistema de irrigação inteligente que determine o tempo de acionamento dos aspersores por intermédio de redes neurais artificiais. Dessa forma, monitora-se os dados adquiridos por sensores para otimizar os recursos hídricos e garantir as condições adequadas de desenvolvimento da plantação.

Materiais e Métodos

Para a realização deste projeto foi necessária a utilização dos seguintes dispositivos:

- a) módulo LoRa RN2903 – Módulo de transmissão por radiofrequência desenvolvido pela LoRa Alliance. Ele possui baixo consumo de energia e pode alcançar longas distâncias dependendo do local;
- b) microcontrolador PIC 24FJ128GA306 – Microcontrolador responsável por captar sinais de sensores e transmitir para atuadores os dados provenientes do módulo LoRa;
- c) Arduino Mega 2560 – Microcontrolador de plataforma eletrônica *open-source*. Ele capta e transmite os sinais vindos do PIC;
- d) Galcon 9001BT – Temporizador de irrigação programável com opção de controle por aplicativo via *bluetooth*;
- e) sensor de fluxo de água YF-S201b – Medidor de fluxo de água que envia os dados de vazão através de pulsos PWM (FilipeFlop, 2020a);
- f) válvula de vazão solenoide 12VDC – Válvula normalmente fechada e de 2 vias que controla a passagem de água (FilipeFlop, 2020b);
- g) componentes eletrônicos diversos que serão destacados posteriormente.

Os seguintes *softwares* e ferramentas de programação foram utilizados durante o projeto:

- a) Arduino IDE – *Software* de plataforma *open-source* que possibilita a programação, compilação e gravação em alguns microcontroladores como, por exemplo, Arduino Mega 2560;
- b) Proteus – *Software* para criação de projetos eletrônicos, simulações e módulos para elaboração de circuitos impressos;
- c) Node-RED – Ferramenta de programação que estabelece conexão com *hardwares* e serviços *online*, além de possuir fácil visualização e utilização (Smart Campus Mauá, 2020);
- d) MATLAB – *Software* de computação numérica de alta performance com ferramentas de processamento de sinais e construção gráfica.

Com o intuito de ilustrar as funções exercidas pelos *softwares* e *hardwares* descritos acima, a explicação foi dividida em quatro etapas para melhor assimilação.

Como ponto de partida analisa-se a lógica de funcionamento do processo de transmissão de dados, como é mostrado na figura 1.

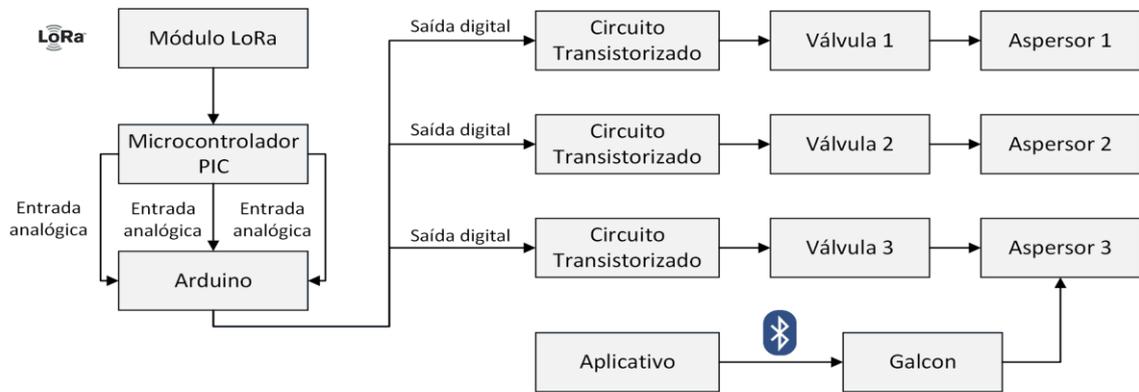


Figura 1 - Fluxograma do acionamento das válvulas

O controle de acionamento das válvulas inicia com os sinais recebidos pelo módulo LoRa. Em seguida, os dados seguem para o PIC onde são utilizados três pinos programados como *output* (saída) no dispositivo (RB12, SDA, SCL). Uma vez que os pinos do PIC estão conectados nas entradas analógicas do Arduino Mega, enviam-se níveis lógicos para o circuito de transistores. Prontamente, o programa gravado no *hardware* Arduino detecta as variações de tensões e, assim, altera o estado das válvulas, ou seja, permitem ou não a passagem de água. Vale ressaltar que uma das válvulas está conectada em paralelo com o temporizador de vazão Galcon, logo, também pode-se liberar a passagem de água via aplicativo *Bluetooth*.

Para o monitoramento e comando das válvulas foram utilizados circuitos transistorizados, com o emprego de transistores TIP122. Cada uma das três válvulas é colocada no coletor de um transistor e são alimentadas por uma única fonte de 12V. A base do transistor é conectada ao pino de saída do Arduino, que está programado para receber um pulso de determinada duração evitando, deste modo, possíveis ruídos. Quando os componentes possuem em sua base nível alto, eles entram no modo de saturação e, conseqüentemente, a válvula se abre. Caso haja outro pulso ou o circuito esteja em aberto, o transistor passa a operar no modo de corte e, por conseguinte, obstrui-se o fluxo de água. A disposição do circuito que realiza o procedimento citado pode ser observada na região de destaque da figura 2.

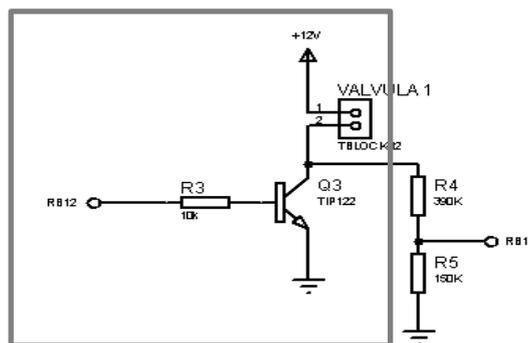


Figura 2 - Exemplo do esquemático de uma das válvulas

A segunda etapa consiste no acompanhamento da operação do sistema. A figura 3 mostra o mecanismo da coleta destes dados.

Com o intuito de saber se o circuito está trabalhando da maneira desejada, verifica-se o estado de cada válvula. Estas são monitoradas por três entradas do PIC (RB13, RB14 e RB15) e estão conectadas no coletor dos transistores. Porém, como o microcontrolador possui limite de diferença de potencial, foi usado um divisor de tensão para que o pino esteja em 3,3V, ao invés de 12V, que é a tensão no coletor do transistor, caso as válvulas estejam fechadas. A parte que corresponde a este detalhamento está representada na figura 4.

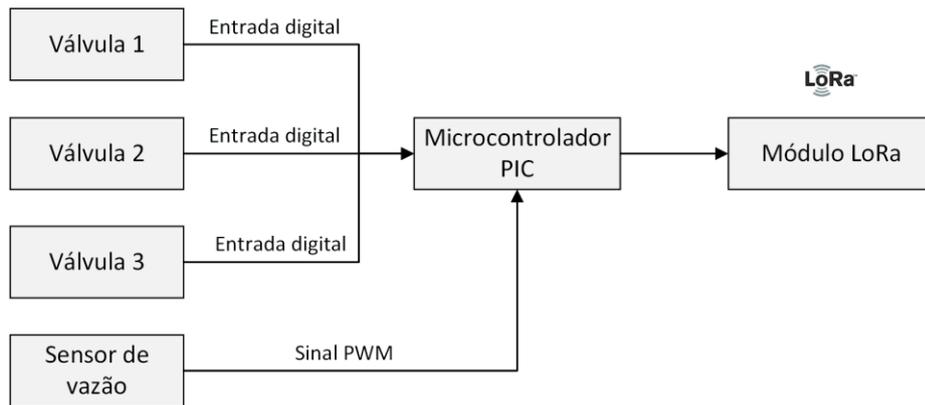


Figura 3 - Fluxograma do processo de captação de dados

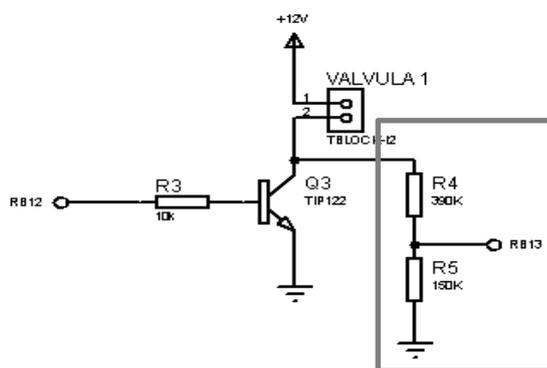


Figura 4 - Exemplo do circuito para monitoramento dos estados

Nesse processo de aquisição de informações ainda se dispõe de um sensor de vazão. A partir dele é possível verificar se as válvulas estão operantes ou se o controlador Galcon está liberando a passagem de água. O sensor funciona como contador e está conectado à porta INT0 do PIC. A contagem dos pulsos vistos é armazenada e enviada para o servidor a cada oito minutos, uma vez que esse é o tempo que o microcontrolador está programado para atualização de seus dados. Esta informação recebida é tratada e convertida em valores em litros, além de fornecer o valor da vazão.

A terceira etapa é composta pela recepção de dados na interface *Web*, a metodologia do sistema é demonstrada na figura 5.

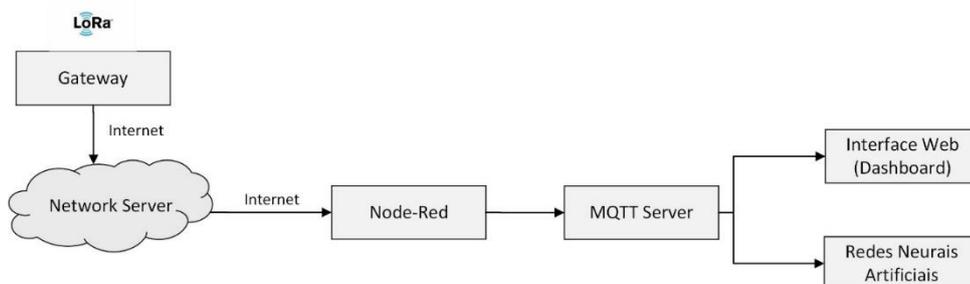


Figura 5 - Fluxograma do processo de obtenção de dados

Inicialmente, as informações captadas pelos sensores e transmitidas pelos microcontroladores chegam ao *Gateway* via LoRaWAN. Elas são organizadas e encaminhadas

ao *Network Server* pela *Internet*. Desse ponto em diante, os dados são enviados e tratados através da ferramenta de programação visual chamada Node-RED. Nela, a partir de blocos programáveis (*nodes*), é possível configurar o servidor através da interface do *MQTT Broker*, permitindo a integração, em tempo real, dos dados provenientes do servidor com a aplicação. Nesse sentido, foi realizada a divisão em dois fluxos de códigos (*flows*) para finalidades diferentes, *uplink* e *dowlink*.

No *uplink*, ocorre a recepção e tratamento dos dados da aplicação. Num primeiro momento, realiza-se a configuração do servidor, seguida pela conversão do texto no formato *string JSON* para objeto *JSON*. Após isso, coleta-se a parte do pacote com a informação de interesse. Para finalizar, a mensagem é decodificada de Base64 e codificada em hexadecimal, para ser fragmentada em informações específicas. A visualização do *flow* está representada na figura 6.

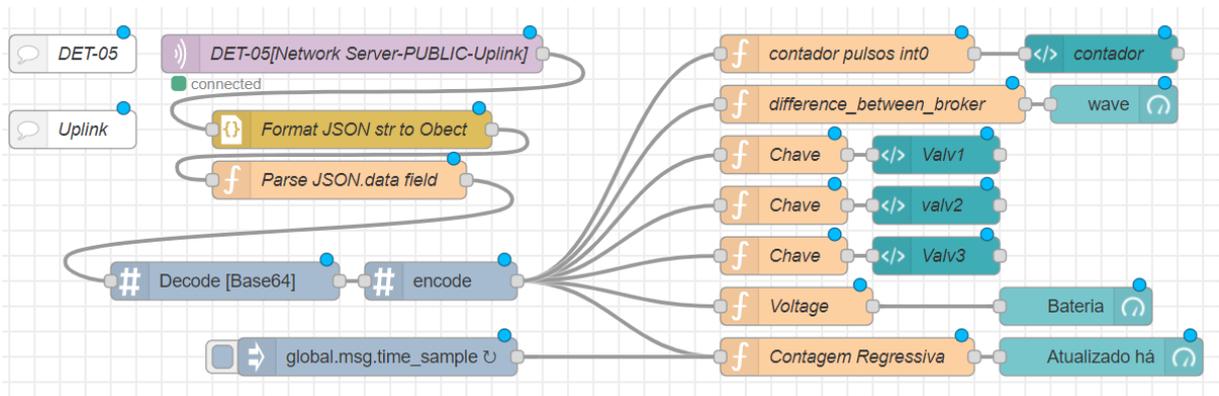


Figura 6 - *Flow* referente ao *Uplink*

Por outro lado, o *downlink* transmite sinais para o microcontrolador PIC com módulo LoRa (*End-node*) via LoRaWAN. A princípio, é necessária uma interação de um usuário para que seja efetuado uma determinada ação, no caso, é preciso pressionar o botão. Após isso, envia-se uma mensagem ao dispositivo microcontrolado, a partir da configuração do servidor via *MQTT Broker*, executando uma tarefa pré-programada. Isso é observado na figura 7.

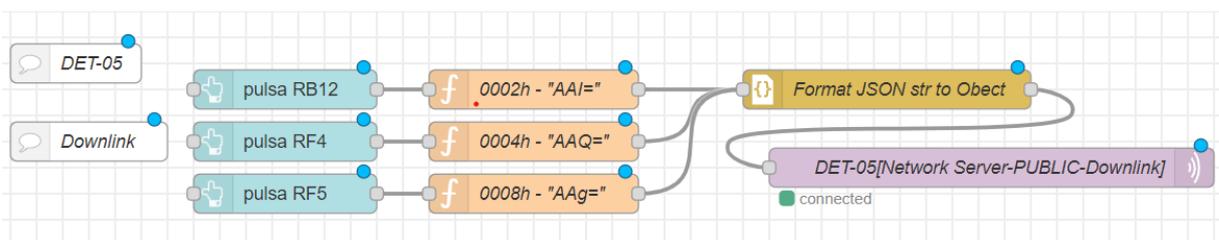


Figura 7 - *Flow* referente ao *Downlink*

Em ambos os fluxos, utilizou-se um recurso do Node-RED que permite a visualização e compreensão do que está ocorrendo no sistema (Figura 8). No *uplink* foram inseridas informações como os estados das válvulas, a tensão da bateria, a vazão de água e o tempo de última atualização dos dados. Analogamente, o *downlink* também é representado no *dashboard*, entretanto a sua interação na interface acontece de forma ativa, isto é, envia informações para o *End-node*.

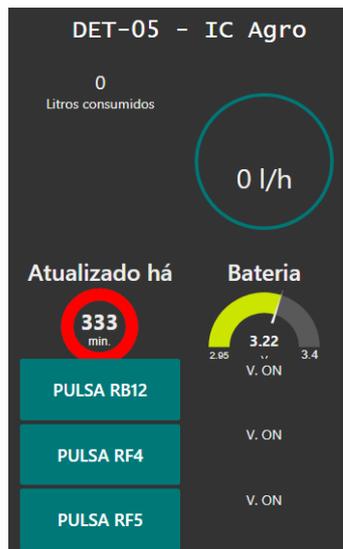


Figura 8 - Exemplo do *dashboard* composto pelo *uplink* e *downlink*

A etapa final consiste na criação da rede neural, para isto, é necessário obter um conjunto de dados variando as condições do sistema. Para a averiguação do que ocorre com a umidade do solo, foram definidos nove pontos de medição com diferentes profundidades e posições em um espaço de dimensões 6,2 m x 6,2 m. A distribuição dos aspersores mantém-se como demonstrado em (Boyadjian, 2019). Deve-se observar sua variação dos dados devido as interferências das perturbações externas, bem como do tempo de acionamento dos aspersores. O diagrama de blocos do sistema está ilustrado na figura 9.

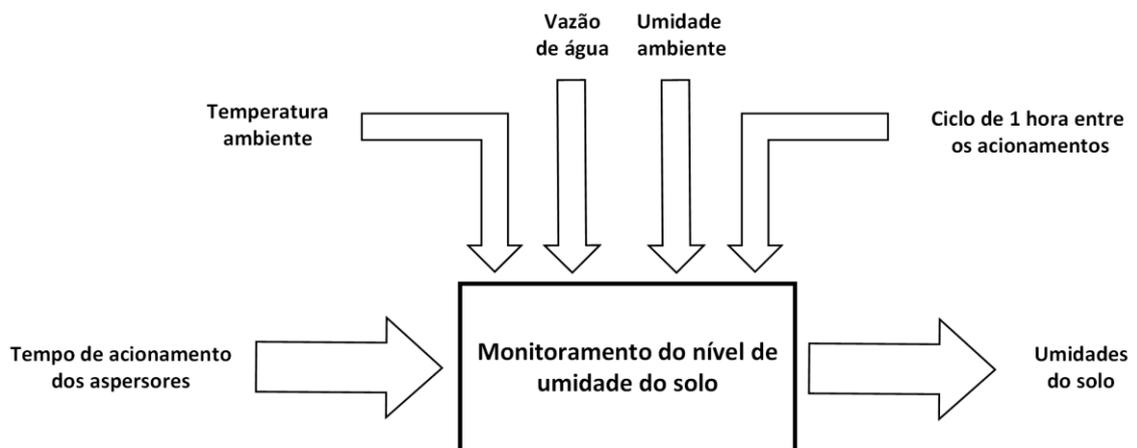


Figura 9 - Processo de obtenção dos dados

Após a aquisição de dados, cria-se um modelo matemático que representa a relação entre a entrada e saída do sistema. A partir disso, definido uma meta de umidade do solo, pode-se prever as condições de saída de uma rede neural para o atingimento desses valores. O esquema do procedimento proposto é representado na figura 10.

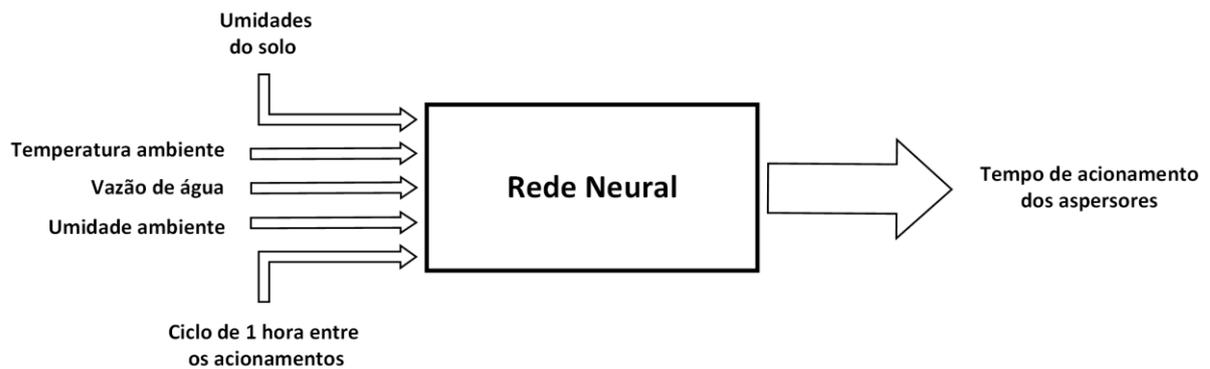


Figura 10 – Diagrama de Blocos para o Modelo da Rede Neural

O funcionamento da rede neural consiste em operações aritméticas, nas quais, deseja-se atingir o valor da umidade do solo desejada, a partir do tempo de acionamento dos três atuadores. O processo fundamenta-se na soma ponderada de treze entradas, cujos pesos são definidos pelo *software* através de cálculos iterativos e algoritmos de otimização. Doze dessas entradas são compostas por sensores de temperatura ambiente, umidade do ar e vazão, além de nove detectores de umidade do solo. A princípio, o ciclo entre os acionamentos seria uma saída, porém, por questões de simplificação, este foi considerado como constante e, conseqüentemente, uma entrada. Nesse sentido, as únicas saídas do sistema são os tempos de acionamento das três válvulas.

Na aplicação, foram utilizadas três camadas: entrada, oculta e saída. A primeira delas recebe os treze dados de entrada descritos acima. De mesma forma, a camada de saída está relacionada com o controle dos aspersores e, por conseguinte, é constituído por três neurônios (espécie de componente que realiza a soma ponderada de entradas e transmite resultados). Já a camada oculta, que realiza cálculos intermediários, visa encontrar pesos adequados para a rede neural. Vale frisar que o treinamento do algoritmo é essencial para que sejam encontrados valores de pesos coerentes e precisos.

Resultados e Discussão

Após o estudo e dimensionamento do sistema responsável pelo acionamento das válvulas, construiu-se uma placa de circuito impresso (Figura 11). Ela, além de promover intermediação entre as válvulas e os microcontroladores, também é a responsável pela distribuição da alimentação de todos os materiais eletrônicos do projeto. Para sua elaboração, utilizou-se o espaço e recursos do Instituto Mauá de Tecnologia.

Em seguida, o circuito junto às válvulas foi integrado com o Arduino Mega. Obtendo-se sucesso nos testes entre ambos, anexou-se o microcontrolador PIC e o sensor de vazão. Então, depois de calibrar o sensor e realizar diversos ensaios, posicionou-se a parte eletrônica dentro da caixa IP67. A finalização dessa etapa do projeto está representada na figura 12.

O próximo passo consiste na fixação da caixa sobre a superfície próxima ao registro. Logo depois, realizou-se a montagem e vedação do sistema mecânico responsável pela irrigação. Vale ainda ressaltar que uma das válvulas foi conectada em paralelo com o temporizador de irrigação Galcon. Desse ponto em diante, verificou-se o funcionamento do sistema uma última vez para selar a caixa contra as adversidades do ambiente. O sistema finalizado pode ser visto na figura 13.

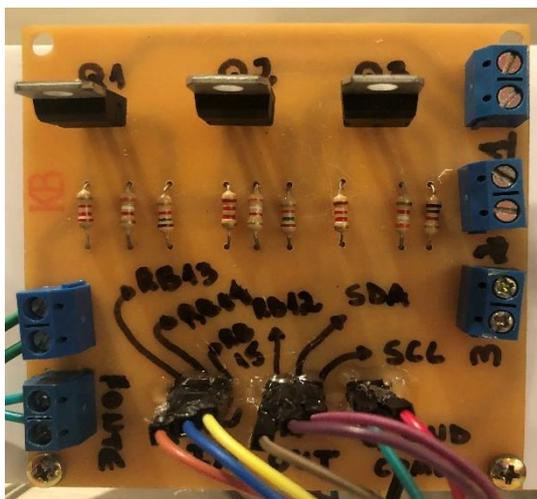


Figura 11 - Placa de circuito impresso

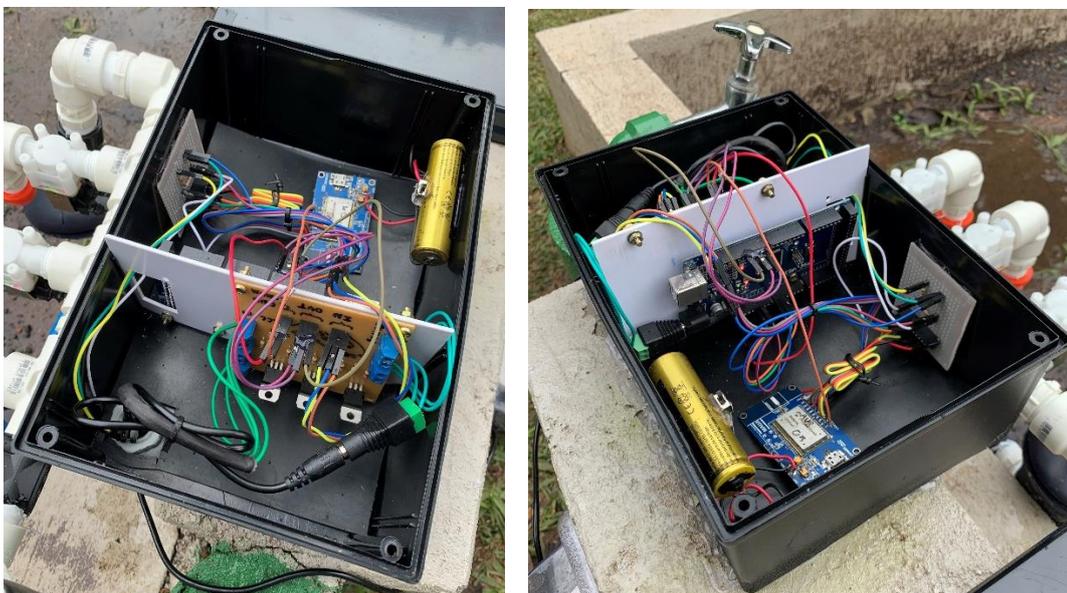


Figura 12- Imagens do circuito responsável pelo controle da horta



Figura 13 - Sistema automatizado de irrigação

Apesar do sistema de irrigação ter funcionado corretamente nos testes, a durabilidade da bateria do microcontrolador PIC foi muito pequena. Em um período de apenas três dias, houve um decaimento de 0,4V comprometendo a transmissão e recepção de dados. O nível da bateria do microcontrolador, após esse intervalo de tempo, está evidenciado no *dashboard* feito com auxílio do Centro de Pesquisa do Instituto Mauá de Tecnologia (Figura 14). É importante salientar que a alimentação do resto do sistema está conectada a uma fonte externa e, por isso, não houve comprometimento das outras partes.



Figura 14 - Resultado da aplicação representado no *dashboard*

Infelizmente, não houve tempo suficiente para a coleta de dados e construção da rede neural, no *software* MATLAB, antes da finalização deste trabalho. Sendo assim, o sistema não foi capaz de realizar o acionamento autônomo das válvulas.

Conclusão

O sistema de irrigação se demonstrou funcional e o acionamento pela interface *Web* operou conforme o esperado, todavia a autonomia da bateria do microcontrolador PIC foi muito abaixo do pressuposto. O sistema desenvolvido está integrado ao *Smart Campus* da Mauá e permite o monitoramento dos sinais dos sensores bem como o controle das vazões nas válvulas diretamente pela Internet.

O teste e implementação da rede neural foram impossibilitados, pois a instalação dos sensores de umidade do solo ocorreu tardiamente e, assim, não realizou-se em tempo a coleta e análise de seus dados. Além disso, houveram problemas relacionados ao momento atual, devido a pandemia do Covid-19, e conseqüente atraso no cronograma.

No decorrer do trabalho surgiram diversos problemas, como a impossibilidade da comunicação do dispositivo Galcon com os outros microcontroladores da aplicação devido a empresa detentora de seus direitos possuir um protocolo de comunicação privado. Nesse viés, também houve complicações relacionados a potência máxima suportada por alguns componentes eletrônicos, bem como a configuração previamente planejada entre o Galcon e as válvulas.

Em projetos futuros seria importante o emprego de um regulador de tensão para resolver o problema da bateria do PIC, caso seja mantida a fonte de alimentação externa. Porém, para uma aplicação de maior escala conviria mudar todo o sistema de alimentação elétrica, pois não haveria energia disponível em todas as regiões do sistema. Outro aprimoramento interessante consistiria na substituição das válvulas solenoides por bi-estáveis para a economia de energia.

Por último, teria grande relevância a vedação do sistema por completo para garantir sua proteção a longo prazo.

Referências Bibliográficas

Boyadjian, B. P.; Assis, W. O.; Coelho, A. D.; Martins, F. A.; Peres, R. C. **“Sistema inteligente para gestão de recursos hídricos na agricultura de precisão utilizando rede neural artificial”** 11º Seminário Mauá de Iniciação Científica, 2019.

Dias, B. G. L.; Coelho, A. D.; Assis, W. O.; Martins, F. A.; Pires, R. C. **“Monitoramento de Sensores de Umidade do Solo com Internet das Coisas (IoT) Aplicado na Agricultura de Precisão”** 11º Seminário Mauá de Iniciação Científica, 2019.

Farooq, M. S.; Riaz, S.; Abid, A.; Abid, K.; Naeem, M. **A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming**, 2019. IEEE Xplore. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8883163>>.

FilipeFlop **Sensor de Fluxo de Água 1/2" YF-S201b.**, 2020a. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-fluxo-de-agua-12-yf-s201/>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

FilipeFlop. **Válvula de Vazão Solenóide de Água 12 VDC.**, 2020b. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/valvula-de-vazao-solenoides-agua-12vdc/>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

Maia, R. F.; Netto, I.; Tran, A. L. H. **“Precision Agriculture Using Remote Monitoring Systems In Brazil”** IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), San Jose, CA, USA, 25 December 2017.

Santos, F. A.; Telvina, M. S.; Segundo, P. S. C.; Carvalho, M. R. B. **“Protótipo de um Sistema de Irrigação Baseado em IoT para Pequenos e Médios Produtores Rurais”** ACTA Tecnológica, v. 12, n° 1, 2017.

Smart Campus Mauá **Exemplo de aplicação MQTT Broker (Node-RED)**, 2020. Disponível em: <https://smartcampus.maua.br/?page_id=252>. Acesso em: 27 nov. 2020.

Teixeira, G. B.; Almeida, J. V. P.. **“Rede LoRa e Protocolo LoRaWan Aplicados na Agricultura de Precisão no Brasil”** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Zaparolli, D. Agricultura 4.0. **Pesquisa FAPESP** [online]. 2020, ed.287, pp. 14-20. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/agricultura-4-0/>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

Zhao, W.; Lin, S.; Han, J.; Xu, R.; Hou, L. **“Design and Implementation of Smart Irrigation System Based on LoRa”** IEEE Globecom Workshops, Singapore, 4-9 December, 2017.