

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA COLETA DE DADOS DE TENSIOMETRIA UTILIZANDO IOT

Mateus Falcão * Vinicius de Moura Siqueira * Henrique de Sá Paye **
Lucas Vago Santana *** Erlon Cavazzana ***

* Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Linhares-ES, (e-mail: mafalcao817@gmail.com; vinic.mourasiqueira@gmail.com).

** SOIL - Agricultura de Alto Rendimento - Linhares-ES, (e-mail: henriquepaye.soil@gmail.com)

*** Coordenadoria do curso de Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Linhares-ES, (e-mail: lucas@ifes.edu.br; erlon@ifes.edu.br)

Abstract: This paper discusses some of the findings from an applied research project aimed at designing automated irrigation systems utilizing Industry 4.0 concepts. The scope of this publication is limited to showing the materials and methods used in the creation of a prototype designed to digitalize, transmit, and store soil water tension readings in a cloud database. Details of the interface designed for accessing data over the Internet are also offered. Such qualities match the given system with the Internet of Things (IoT) concept and show that it can be used to track relevant sensory data in irrigation process automation.

Resumo: Este trabalho apresenta resultados parciais obtidos durante o desenvolvimento de uma pesquisa aplicada, com intuito de conceber sistemas automatizados para irrigação utilizando conceitos da Indústria 4.0. No recorte deste manuscrito, limita-se a apresentar os materiais e métodos aplicados na construção de um protótipo criado para digitalizar, transmitir e arquivar em um banco de dados em nuvem, leituras de tensão hídrica do solo. Além disso, apresentam-se detalhes da interface criada para visualização dos dados pela Internet. Tais características alinham o sistema apresentado com o conceito de Internet das Coisas (do inglês - Internet of Things ou IoT) e fornecem indícios de que ele pode ser utilizado como ferramenta de monitoramento de informações sensoriais úteis na automação de processos de irrigação.

Keywords: Precision agriculture; Internet of things; Sensor networks; Tensiometer; Web development; Wireless networks.

Palavras-chaves: Agricultura de precisão; Internet das coisas; Redes de sensores; Tensiômetro; Desenvolvimento Web; Redes sem fio.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o tema desenvolvimento sustentável, tem recebido muita atenção em virtude dos prejuízos que a degradação do meio ambiente pode causar. Essa preocupação extra fomenta o desenvolvimento de novas tecnologias com foco na preservação dos recursos naturais presentes no planeta (Machado, 2020).

O setor agrícola é responsável pela produção de grande parte dos alimentos consumidos no mundo. Segundo Saath (2018) a demanda por alimentos vem aumentando com o passar dos anos e, com isso, cada vez mais é necessário atingir produções com um bom rendimento e aproveitamento dos recursos naturais empregados no processo produtivo.

De acordo com Bonomo et al. (2013), para utilizar os recursos hídricos de forma eficaz é necessário realizar o manejo do sistema de irrigação de forma correta, irrigando no momento certo e aplicando a quantidade correta de

insumos buscando atender as necessidades da vegetação, elevar a produtividade e, ao mesmo tempo, economizar recursos como água e energia elétrica.

O tensiômetro é um instrumento composto por uma cápsula porosa e um medidor de pressão, capaz de mensurar a tensão hídrica do solo e, de acordo com a sua curva de retenção, obter indiretamente a umidade (Coelho, 2004).

Em seu princípio de funcionamento, quando a solução dentro do tensiômetro entra em contato com a água contida no solo pelo intermédio da cápsula porosa, tenta-se estabelecer um equilíbrio entre o meio externo (solo) e interno (tensiômetro). Dessa forma, quando o solo perde água, a solução interna ao equipamento atravessa a cápsula porosa em direção ao exterior fazendo com que uma pressão negativa apareça dentro do tubo plástico. Tradicionalmente, tal vácuo é medido por um vacuômetro analógico e lido por um operador do instrumento. Em seguida, tal leitura

é relacionada com a curva de retenção do solo, de onde se estima a umidade (Arruda et al., 2017a).

Com o avanço das tecnologias e a necessidade de melhorias no processo de irrigação, foram desenvolvidas diversas soluções automatizadas para realizar as leituras dos tensiômetros. Como primeiros exemplos, pode-se mencionar Marthaler et al. (1983) e Thiel (1963), que deram grandes contribuições para os avanços tecnológicos na tensiometria, desenvolvendo o tensímetro e o tensiômetro com transdutor. Com o passar do tempo a tecnologia desses aparelhos evoluiu e isso os levou ao meio comercial¹. Porém, como destaca (Coelho and Teixeira, 2004), o alto custo agregado faz com que esses dispositivos sejam pouco difundidos na agricultura brasileira.

Diversos trabalhos relacionados aos tensiômetros eletrônicos são encontrados na literatura. Teixeira and Coelho (2003) desenvolveram um tensiômetro automático que envia os dados de pressão via cabo para um computador que os armazena em sua memória. Arruda et al. (2017b) criaram um sistema que coleta as informações de pressão dos sensores e que os armazena em um cartão de memória. Thalheimer (2013) desenvolveu um sistema que utiliza a memória de um microcontrolador para armazenar a pressão dos sensores para posteriormente recuperá-la via conexão serial com um computador. Gomes and Roland (2018) desenvolveram um sensor dependente de uma conexão local com a Internet que envia leituras para um banco de dados e depois os exibe em uma página web.

Neste trabalho, descreve-se o desenvolvimento do protótipo de um sistema inspirado naquele de Gomes and Roland (2018). Porém, aqui se busca uma solução mais completa, que não dependa da disponibilidade de conexão com a Internet no local de instalação dos sensores e que seja compatível com tensiômetros já instalados nas lavouras. Quando essas limitações são contornadas, obtém-se uma solução que facilita a coleta de leituras tensiométricas em um ambiente agrícola. Destaca-se que o protótipo apresentado foi elaborado para operar com uma arquitetura distribuída de comunicação, na qual uma central de coleta de dados fica instalada na sede da propriedade de onde há acesso à Internet e os demais nós do sistema ficam em campo, junto dos sensores da lavoura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este sistema pode ser subdividido em três partes principais, sendo elas o *Hardware*, o *Servidor* e o *Software*, conforme a Figura 1.

2.1 Tensiômetro

Para poder ler a tensão da água no solo utilizou-se o tensiômetro, que é formado por uma cápsula porosa de cerâmica, um tupo de PVC, um tubo transparente, uma tampa de borracha, e um vacuômetro já acoplado. A Figura 2 mostra uma vista explodida do equipamento.



Figura 1. Estrutura do projeto.

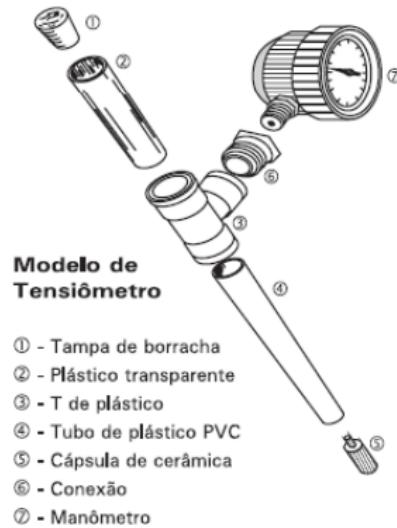


Figura 2. Tensiômetro com vacuômetro. Fonte: (AZEVEDO, 1999).

2.2 Sensor de Vácuo

Para realizar a leitura da pressão foi utilizado um sensor fabricado pela Motorola, com capacidade de realizar a leitura por pressão diferencial, possibilitando a identificação de pressões positivas e negativas. A Figura 3 exemplifica o aspecto físico do sensor, além do diagrama de pinos e conexões elétricas. A conexão deste elemento ao tensiômetro foi realizada através de tubos de silicone e elementos de vedação.

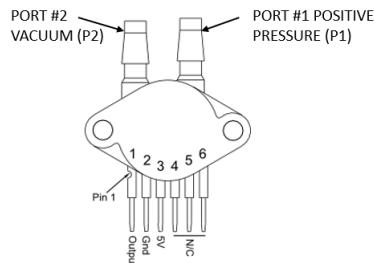


Figura 3. Sensor de vácuo Motorola. Fonte: (Motorola, 1997).

2.3 Rádio Comunicação

Para possibilitar a comunicação entre sensores instalados em campo e a central de coleta e publicação de dados na Internet, optou-se pela utilização da tecnologia de rádio

¹ <https://www.doutorirrigacao.com.br/medicaco-e-instrumentacao/tensimetro-medidor-digital-de-umidade-do-solo-blumat-p>

comunicação LoRa (*Long Range*). O modelo selecionado possui alcance de até 3 Km quando acompanhado de uma antena adequada. Em testes experimentais, verificou-se transmissão ininterrupta em conformidade com a especificação de alcance desse dispositivo. Na Figura 4, ilustra-se um dos trajetos realizados para testes dos aparelhos em funcionamento.



Figura 4. Teste de distância realizado com o rádio comunicação.

2.4 Microcontrolador

Como componente principal do sistema embarcado nas unidades de campo, utilizou-se um microcontrolador para a realização das leituras analógicas, comunicação com os rádio transmissores e outras funções requeridas no projeto. Optou-se pelo modelo ATMega328P fabricado pela Microchip, por se tratar de um componente acessível no mercado nacional e que possui especificações coerentes com as demandas desse projeto.

Na Figura 5, ilustra-se o diagrama de pinos e conexões elétricas do referido microcontrolador.

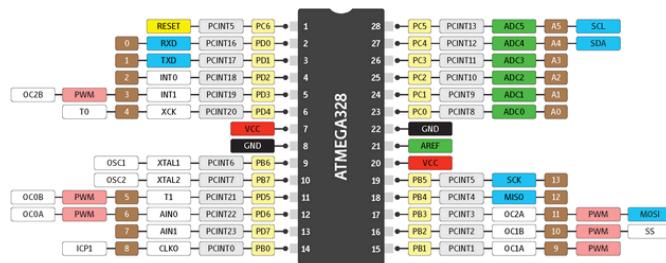


Figura 5. Diagrama de pinos do microcontrolador AT-Mega328P. Fonte: (Microchip, 2015).

2.5 Placa de Desenvolvimento para IoT

Para fornecer a conectividade entre o sistema de coleta em campo e a Internet, optou-se por embarcar na construção da central de coleta e publicação de dados um elemento compatível com a tecnologia *WiFi*. O equipamento selecionado para este fim foi a placa de desenvolvimento para IoT denominada *NodeMCU*. Tal dispositivo foi programado para se conectar à Internet da propriedade, receber dados de campo (oriundos dos rádios LoRa), enviar tais informações a um banco de dados que, por sua vez, é utilizado como fonte na alimentação de uma aplicação *web* de visualização das leituras. A Figura 6 mostra os pinos e as funções dos mesmos na placa.

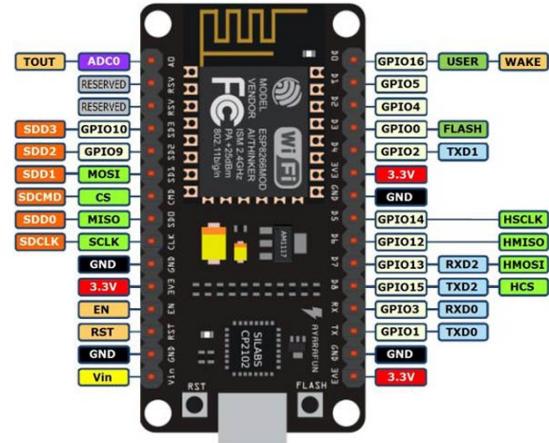


Figura 6. Diagrama de pinos da placa de prototipagem NodeMCU. Fonte: (Eletrogate, 2022).

2.6 Bateria e Alimentação

Por se tratar de um aparelho de campo, a alimentação dos circuitos é realizada através de baterias. Para melhorar a autonomia do equipamento, programou-se os dispositivos de campo para operar em modo de economia de energia. Baterias de *Li-ion* foram selecionadas para o protótipo, por apresentarem uma boa taxa de descarga e capacidade de armazenamento. A Figura 7 mostra o modelo de bateria escolhido, que é exemplificada como uma célula do tipo 18650 com capacidade de carga de 2200 mAh e tensão nominal de 3,7 V, podendo chegar até 4,2 V quando totalmente carregada.



Figura 7. Célula de bateria de *Li-ion*. Fonte: (Storage, 2017).

Para ajuste e regulagem da tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos, optou-se por um conversor comercial DC-DC do tipo *step-up*, idêntico àquele exibido na Figura 8.



Figura 8. Conversor utilizado para regulagem de tensão. Fonte: (Usinainfo, 2022).

2.7 Desenvolvimento do hardware de campo

Em campo, a leitura da pressão de vácuo dos tensiômetros é realizada pelo sensor descrito na seção 2.2. Tal dispositivo possui duas tomadas de pressão: uma positiva; outra negativa. A tomada positiva fica aberta e em contato com a pressão atmosférica, enquanto a tomada de pressão negativa é conectada ao tensiômetro por meio de uma mangueira de silicone inserida na tampa de vedação do equipamento. Com essa configuração o sensor medirá a diferença das pressões atmosférica e interna ao tensiômetro (vácuo formado).

A saída do sensor é uma tensão elétrica que incorpora ruídos que interferem na leitura do nível de pressão. Para mitigar este efeito, instalou-se um filtro passa-baixa entre a saída do sensor e a entrada do conversor analógico digital do microcontrolador utilizado nesta leitura, conforme diagrama da Figura 9.

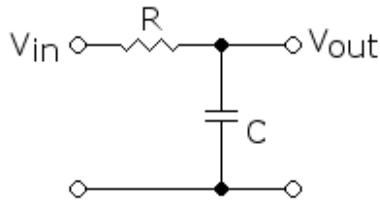


Figura 9. Diagrama de um filtro passa-baixa.

É usual em propriedades rurais que o sinal de conexão com a Internet esteja disponível apenas em sua sede, enquanto os tensiômetros são instalados em pontos distantes dela. Neste contexto, é necessário que o dispositivo de campo envie suas leituras para uma central instalado na sede da propriedade que, por sua vez, disponibilizará as informações na Internet. Para isso, os rádios LoRa foram empregados na criação de uma rede de comunicação entre o campo e a sede.

Para conectar os dispositivos eletrônicos, desenvolveu-se um modelo de placa de circuito impresso que implementa as ligações elétricas entre os dispositivos. A Figura 10 mostra um modelo 3D da placa projetada.

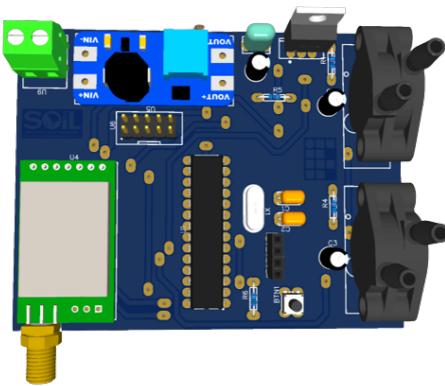


Figura 10. Representação 3D da placa eletrônica do dispositivo de campo.

2.8 Desenvolvimento do hardware da central de coleta e publicação de dados na Internet

Os dados enviados pelo equipamento de campo são recebidos, via rede LoRa, em uma central de coleta e publicação na Internet. Desenvolveu-se tal elemento como uma placa eletrônica com conectividade LoRa e WiFi. Sua programação permite o preenchimento de uma tabela de banco de dados hospedada em um servidor web MySQL. A Figura 11 ilustra o modelo da placa de como ficará a placa após a confecção.

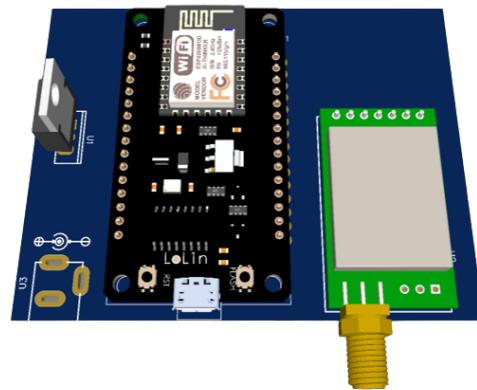


Figura 11. Representação 3D da placa eletrônica do dispositivo central de coleta e publicação de dados na Internet.

2.9 Desenvolvimento da aplicação web de visualização e monitoramento dos dados

O software foi desenvolvido utilizando a linguagem de marcação HTML5 para estruturar o site, o CSS3 para estilização e o PHP para realizar as conexões com o banco de dados e disponibilizar as informações para serem exibidas na interface.

Para realizar um tratamento das informações, utilizou-se o JavaScript e uma biblioteca *open source* de apoio à criação de gráficos dinâmicos em sistemas web. O resultado pode ser visualizado na Figura 12.

O banco de dados foi estruturado no MySQL *online*, e seu diagrama pode ser visto na Figura 13.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram construídos dois protótipos: um do equipamento de campo e outro da central. A placa eletrônica do protótipo de campo pode ser vista na Figura 15, enquanto na Figura 14 se observa a placa eletrônica que compõe a unidade central e que se conecta à Internet para publicação dos dados.

Para a proteção hermética dos circuitos foram confeccionadas caixas fabricadas via impressão 3D. Na Figura 16 é possível verificar os protótipos finalizados e já inseridos dentro das caixas de proteção.

A Figura 17 ilustra como funciona o fluxo de informações entre os componentes do projeto. O equipamento que fará a leitura dos sensores fica em modo de economia de energia



Bem vindo ao Painel de Controle, **Mateus Falcão**.

Data	Hora	P1	P2
2022-05-10	00:24:05	0.01	-0.75
2022-05-10	00:34:34	-0.75	-1.51
2022-05-10	00:45:02	0.01	-1.51
2022-05-10	00:55:30	0.01	-0.75
2022-05-10	01:05:58	0.01	-1.51

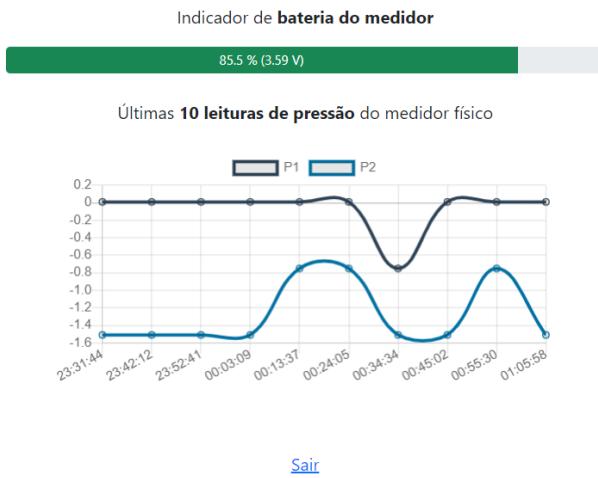


Figura 12. Tela da aplicação *web* desenvolvida para visualização e monitoramento dos dados.

durante alguns instantes e, após esse tempo, faz a leitura dos sensores e do nível de bateria. Em seguida, ele envia essas informações por radiocomunicação para o equipamento central que está conectado à Internet. Quando as informações chegam elas primeiramente validadas e depois enviadas para um servidor que as processa e insere no banco de dados.

Por fim, os usuários do sistema utilizam suas credenciais de acesso à interface gráfica da Figura 12 de onde é possível visualizar os valores de pressão, data e horário que foram inseridos no banco de dados, além de um gráfico contendo

Diagrama de Banco de Dados

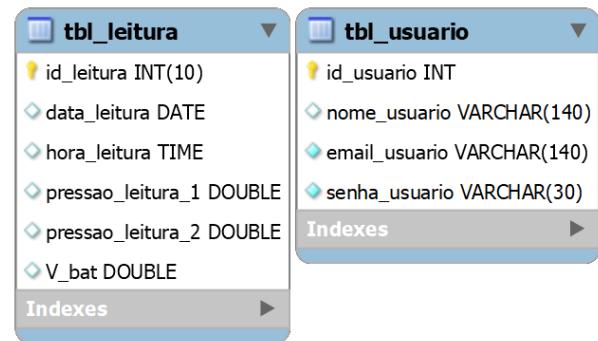


Figura 13. Diagrama de banco de dados.

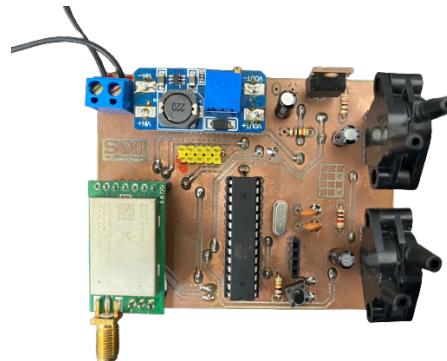


Figura 14. Placa do circuito externo finalizada.



Figura 15. Placa do circuito interno finalizada

as variações das pressões lidas por certo período de tempo. Além disso, uma barra gráfica é utilizada para acompanhar o nível de bateria do equipamento em monitoramento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo foi instalado em campo para realizar a coleta das informações do tensiómetro, conforme ilustra a Figura 18.

Durante os testes, percebeu-se que a interface gráfica utilizada de fato permite uma visualização facilitada das informações coletadas em campo. A leitura de vácuo fica disponível na forma de tabelas ou gráficos e pode ser acessada desde um celular ou computador, na sede da propriedade ou de qualquer outro lugar com acesso à Internet. Tal característica fornece indícios de tais informações podem



Figura 16. Protótipos finalizados.

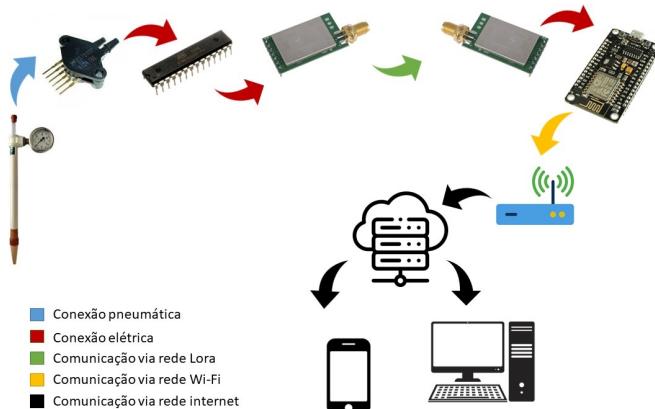


Figura 17. Representação do fluxo de dados.

ser utilizadas para determinar o início ou o término de um processo de irrigação.

A evolução natural deste protótipo é realizar a sua integração com um sistema automatizado de irrigação que, baseado nas leituras sensoriais, terá subsídio no planejamento das regas. Porém, para este fim ainda falta a realização de ensaios mais prolongados de calibração experimental dos sensores e também uma observação mais cautelosa sobre a resistência mecânica do dispositivo a intempéries sob as quais ficará exposto em campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ifes (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo) - campus Linhares e a Soil - Agricultura de Alto Rendimento, pela



Figura 18. Protótipo instalado em campo.
parceria institucional e pelo suporte financeiro concedido a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Arruda, L., Figueirêdo, V., Levien, S., and Medeiros, J. (2017a). Desenvolvimento de um tensiômetro digital com sistema de aquisição e armazenamento de dados. *IRRIGA*, 1. doi:10.15809/irriga.2017v1n1p11-20.
- Arruda, L., Figueirêdo, V., Levien, S., and Medeiros, J. (2017b). Desenvolvimento de um tensiômetro digital com sistema de aquisição e armazenamento de dados. *IRRIGA*, 1. doi:10.15809/irriga.2017v1n1p11-20.
- AZEVÉDO, J. A de; SILVA, E.M.d. (1999). Tensiômetro: Dispositivo prático para controle da irrigação. *Embrapa Cerrados. Circular Técnica*, 33.
- Bonomo, D., Bonomo, R., Partelli, F., Martins de Souza, J., and Magiero, M. (2013). Desenvolvimento vegetativo do cafeiro conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 7, 157–169. doi:10.7127/rbai.v7n200008.
- Coelho, Silvana L. e Teixeira, A.d.S. (2004). Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. *Engenharia Agrícola[online]*, 24.
- Coelho, S. and Teixeira, A. (2004). Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. *Engenharia Agrícola*, 24. doi:10.1590/S0100-69162004000300006.
- Eletrogate (2022). Nodemcu – esp12: Guia completo – introdução. URL <https://blog.eletrogate.com/nodemcu-esp12-introducao-1/>.
- Gomes, E.A. and Roland, C.E.F. (2018). Irrigacafe: Construção e análise de um sistema de aquisição de dados para controlar irrigações e medição de uso e consumo de água na irrigação cafeeira. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão de Tecnológica*, 9, 28–60.
- Machado, Isis Laynne de Oliveira e Garrafa, V. (2020). Proteção ao meio ambiente e às gerações futuras: desdobramentos e reflexões bioéticas. *Saúde em Debate [online]*, 44(124), 263–274. doi:10.1590/0103-1104202012419.
- Marthaler, H.P., Vogelsanger, W., Richard, F., and Wierenga, P.J. (1983). A pressure transducer for field tensiometers. *Soil Science Society of America Journal*, 47, 103–106. doi:10.2136/sssaj1983.4701030x.

America Journal, 47(4), 624–627. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040002x>. URL <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1983.03615995004700040002x>.

Microchip (2015). Atmega328p.

Motorola, S. (1997). Mpx5700 series.

Saath, Kleverton Clovis de Oliveira e Fachinello, A.L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural [online]*, 56.

Storage, S.L. (2017). Lg lgdbmj11865 cell specifications. URL <https://secondlifestorage.com/index.php?threads/lg-lgdbmj11865-cell-specifications.1737/>.

Teixeira, A. and Coelho, S. (2003). Desenvolvimento e calibração de um tensiómetro eletrônico de leitura automática. *Engenharia Agrícola*, 25. doi:10.1590/S0100-69162005000200010.

Thalheimer, M. (2013). A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(3), e16. doi:10.4081/jae.2013.e16. URL <https://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/jae.2013.e16>.

Thiel, T. (1963). Electrical water pressure transducers for field and laboratory use. *Soil Science Society of America Journal*, 27(5), 601–602.

Usinainfo (2022). Regulador de tensão ajustável mt3608. URL <https://www.usinainfo.com.br/regulador-de-tensao-ajustavel/regulador-de-tensao-ajustavel-mt3608-conversor/-dc-step-up-para-mais-25v-a-28v-4489.html>.