

## **IRRIGA+: SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA CONTROLE DE IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS**

*IRRIGA+: DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CONTROL IRRIGATION OF  
VEGETABLES*

Leonardo Cancelieri Avancio<sup>1</sup>

Daniela Eloise Flôr<sup>2</sup>

**Resumo:** A irrigação adequada de mudas de hortaliças é crucial para o desenvolvimento da planta. Porém, não é incomum que este processo falhe por falta ou excesso de água. Considerando a possibilidade de a tecnologia colaborar para minimizar os efeitos negativos do descontrole, foi desenvolvido um protótipo que por meio da verificação dos índices de temperatura e umidade do ar e umidade do solo das mudas, fornece informações que apoiem a decisão de irrigação. O protótipo, Irriga+, foi testado em um estudo de caso e obteve resultados úteis como, por exemplo, a verificação de níveis hídricos diferentes ocasionados pelo método de irrigação empregado. Os resultados apontam que a tecnologia de prototipação eletrônica atual é capaz de contribuir para conhecer e controlar o estresse hídrico de mudas de hortaliças.

**Palavras-chave:** Irrigação. Hortaliças. Irriga+. Protótipo. Sistemas Embarcados.

**Abstract:** Proper irrigation of vegetables is important for their development. However, it is not unusual to perform irrigation using the wrong amount of water. Considering embedded systems technology, we developed a prototype, called Irriga+, that provides the moisture of the soil and the temperature and moisture of the air, which aids the irrigation process. We evaluated Irriga+ and obtained useful results, such as the verification of different water levels caused by the irrigation method employed. The results indicate that the current electronic prototyping technology is able to contribute to minimize or avoid the water stress of vegetable.

**Keywords:** Irrigation. Vegetables. Irriga +. Prototype. Embedded systems.

---

<sup>1</sup> Especialista em Desenvolvimento de Sistemas Web, Móveis e Embarcados, Instituto Federal do Paraná Campus Paranavaí, cancelieri.leonardo@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Computação Aplicada, Instituto Federal do Paraná Campus Paranavaí, daniela.flor@ifpr.edu.br.

# 1 INTRODUÇÃO

No século XXI, a tecnologia está presente nos mais variados nichos de mercado, auxiliando os seres humanos a desenvolver, produzir e inovar nestes setores. O agronegócio é um campo muito promissor, pois investe pesado em tecnologia e, de acordo com a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (2017), alinhado a este movimento os investimentos no setor de hortaliças também estão em expansão.

As hortaliças, ou seja, vegetais de portes variados como, por exemplo, alface, almeirão, cebolinha, rúcula e salsa, podem ser consumidas como alimento pelo homem, mas carecem de manejo eficiente de irrigação. Todavia, o índice de adoção de tecnologias para este fim é baixo e, de acordo com a Embrapa Hortaliças (2009), isto deve-se ao fato de os produtores acreditarem que são soluções caras, complexas, trabalhosas e que não proporcionam ganhos econômicos compensadores, visto que necessitam responder duas questões básicas e essenciais do manejo “quando” e “quanto” irrigar.

Marouelli e Calbo (2009) afirmam que apesar de existirem inúmeras estratégias para o manejo de irrigação, a maior parte dos horticultores irrigam suas lavouras de forma imprópria, geralmente com desperdício de água. Irrigações, sobretudo em excesso, favorecem diretamente a disseminação e a multiplicação de determinados patógenos, e a iniciação do processo infeccioso de várias doenças, com destaque para as bacterioses.

Marouelli e Calbo (2009) reforçam que a adoção de estratégias apropriadas para o manejo de irrigação é comumente viável tanto do ponto de vista econômico, social quanto ambiental, principalmente, se considerada a redução gradual de fontes de água de boa qualidade.

Considerando a variedade de sensores e componentes de prototipagem eletrônica, aliados à possibilidade dessa tecnologia poder colaborar para minimizar os efeitos negativos do descontrole citado, essa pesquisa tem por objetivo principal avaliar a estratégia de uso de um protótipo de baixo custo, validado por um estudo de caso, para responder às questões referentes ao manejo de irrigação das hortaliças.

O teor acadêmico da pesquisa e o fato dos componentes serem experimentais impõe limitações ao protótipo e exigem tratar objetivos mais específicos, tais como: (1) a viabilização da construção do protótipo; (2) a robustez do protótipo durante a irrigação; (3) a amplitude de uso do protótipo frente à variedade de hortaliças; e (4) a avaliação dos custos do protótipo.

Para contribuir para uma leitura crescente desse estudo, optou-se por fragmentar sua apresentação em seções que abordam trabalhos correlatos (seção 2), o passo a passo da construção do protótipo e do estudo de caso, na seção 3. A seção seguinte detalha o que foi possível descobrir e o que essas descobertas significam. Na sequência, na seção 5, conclui-se os estudos e segue a apresentação das referências que contribuíram para a pesquisa.

## **2 TRABALHOS CORRELATOS**

A realização de pesquisa bibliográfica subsidiou a verificação de trabalhos semelhantes à solução proposta. Dentre eles, dois são descritos a seguir por apresentarem maior afinidade com este estudo.

O primeiro é o Sistema Irrigas® de Marouelli e Calbo (2009), o mesmo trata-se de um sistema gasoso de controle de irrigação que avalia a tensão matricial de água no solo, isto é, mede a força com que a água está aderida ao solo. Uma cápsula porosa, conectada através de um tubo de plástico flexível a uma pequena cuba de leitura e um frasco com água, que informa se o solo está úmido ou seco. O sistema deve permanecer instalado no solo durante todo o ciclo da cultura.

Marouelli, Freitas e Costa Júnior (2010) garantem que o Sistema Irrigas® pode ser utilizado em qualquer sistema de cultivo e nos diferentes sistemas de irrigação, em plantios com canteiro e sem canteiro, com ou sem cobertura plástica, no plantio direto na palha ou mesmo nos cultivos em estufa.

O trabalho de Santos et al. (2017) apresenta um protótipo de um sistema de irrigação para pequenos e médios produtores rurais, inspirado no conceito de Internet das Coisas (do inglês, Internet of Things, IoT). A IoT oferece a possibilidade de qualquer equipamento se conectar à internet e transmitir informações para seu usuário.

O trabalho elaborou um sistema capaz de verificar a umidade do solo, o nível de pH e por meio da conexão com a internet, permite que os produtores saibam o que está acontecendo em tempo real com suas plantações para o melhor aproveitamento de seus cultivos e cuidados com o solo.

Os trabalhos citados, apesar de projetados para o mesmo público, apresentam algumas diferenças entre si. O primeiro foi desenvolvido sem utilização de componentes eletrônicos, já o segundo, contém funcionalidades controladas à distância, necessita de conexão com a internet e a utilização de outros dispositivos, como um smartphone, para o monitoramento do sistema de irrigação.

Considerando a proposta deste estudo verificam-se similaridades com os trabalhos citados quanto aos objetivos e, no caso do segundo trabalho, as semelhanças alcançam também o uso da mesma plataforma de prototipagem e de alguns componentes. Porém, em nenhum dos casos, o horticultor tem autonomia para inserir índices de umidade personalizáveis de acordo com a cultura que se quer irrigar. Este é um diferencial significativo deste estudo. Hortaliças diferentes possuem necessidades hídricas distintas, por isso, o Irriga+ possui funcionalidades que permitem tal configuração.

Outra característica agregada foi a emissão de sinais luminosos que ajudam os usuários a compreenderem as leituras, fazendo uso das mesmas cores de um semáforo que, analogamente, exibe a luz verde para níveis satisfatórios de umidade, amarelo para níveis que requerem atenção e vermelho para alerta de situação crítica. Adicionalmente, o protótipo foi internacionalizado exibindo mensagens em três idiomas distintos: português, como padrão, inglês e espanhol.

### **3 DESENVOLVIMENTO**

A elaboração do Irriga+ foi norteada por algumas etapas do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Para Rozenfeld et al. (2006), o PDP elenca atividades que unem a identificação de uma oportunidade à concepção de um produto que tenha valor no mercado.

Existem vários modelos de referência de PDPs. Porém, considerando o escopo, as características do protótipo e do ambiente acadêmico, as fases executadas nessa proposta incluíram:

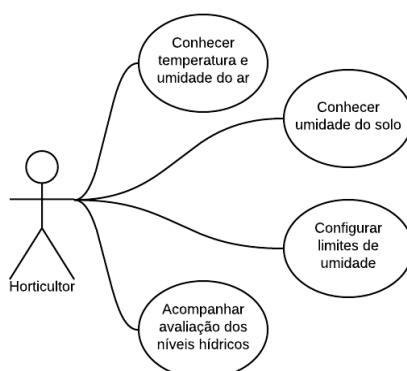
- geração do conceito para a definição inicial do protótipo;
- planejamento e especificação para a identificação de materiais e modelagem de funcionalidades;
- desenvolvimento e validação para a elaboração de protótipo e testes de experiência com usuário.

### 3.1 Geração do Conceito

De acordo com Brown (2010), a elaboração de um protótipo não acontece sem que haja reflexões importantes como, por exemplo: (1) quem será o público-alvo? (2) qual a familiaridade do mesmo no uso de tecnologias semelhantes? (3) como e em que o protótipo pode ajudar? (4) quais tecnologias seriam interessantes considerando a relação custo e benefício? Enfim, muitas conjecturas foram discutidas antes que o Irriga+ tomasse forma.

A etapa de geração de conceito teve essa finalidade, planejar funcionalidades, discutir os limites do trabalho, pensar na abordagem do estudo de caso, entre outros. A Linguagem de Modelagem Unificada (UML), por meio do diagrama de caso de uso, foi escolhida para esboçar um apanhado inicial das funcionalidades do protótipo. A figura 01 traz um retrato dessa etapa.

**Figura 1** - Diagrama de caso de uso das funcionalidades do Irriga+



Fonte: O autor

O diagrama de caso de uso da figura 1 expõe a funcionalidade “Conhecer temperatura e umidade do ar”, ela contribui para o usuário avaliar se as necessidades hídricas da muda tendem a aumentar ou diminuir em função dos dados lidos.

“Conhecer a umidade do solo” é uma funcionalidade diretamente relacionada a “quando” as hortaliças devem receber água. A junção das funções citadas ajuda o usuário a decidir qual o limite de umidade satisfatória e umidade crítica deve ser informado em “Configurar limites de umidade”.

Diante da falta de dados científicos sobre níveis hídricos gerais e das preferências e experiências de cada horticultor, decidiu-se que estes valores não seriam parametrizados pelo protótipo e sim personalizados de acordo com os interesses do usuário.

De forma padronizada, “Acompanhar avaliação dos níveis hídricos” acontece por meio de mensagens no display LCD e pela emissão de sinais luminosos. O acompanhamento é atualizado continuamente durante a irrigação, por isso, quando o nível hídrico estiver dentro da faixa desejada ocorrerá a mudança nos avisos textuais e luminosos, para que cesse a irrigação. Com isso, o protótipo contribui para responder “quanto” irrigar, tal prática preserva a planta e economiza água.

Compreendido as funcionalidades fundamentais do Irriga+, planejou-se o estudo de caso. Optou-se pela realização de duas formas de configuração diferentes. A primeira com limites intermediários, ou seja, um percentual de umidade que representasse a mudança gradual da umidade seca para a satisfatória, ou vice-versa. Por sugestão do horticultor, a segunda configuração de testes trabalhou somente um valor limítrofe responsável por diferenciar solo seco de solo úmido.

A contribuição de um horticultor experiente foi decisiva para elencar as funcionalidades citadas, bem como para a definição do formato dos testes. De forma geral, os testes ocorreram em dias diferentes com horários e temperaturas divergentes, permitindo ao usuário testar a amplitude da faixa limítrofe. O estudo de caso é explanado com mais detalhes em subseção própria na evolução do artigo.






### 3.2 Planejamento e Especificação

Vencida a etapa de geração de conceito passou-se ao planejamento e especificação do protótipo. Na oportunidade, foram elencados os componentes necessários ao desenvolvimento, além da forma de cooperação entre eles para que as funcionalidades da etapa anterior fossem atendidas.

A seguir, na Tabela 1, são apresentadas as funções e valores aproximados dos componentes usados. É válido ressaltar que os valores monetários descritos foram praticados por fornecedores online no meio do ano de 2018. Em decorrência de importações, flutuações cambiais, mudanças nas relações comerciais e/ou fretes de entrega, os valores podem desatualizar-se facilmente, porém, são valores úteis aos objetivos desse estudo. Os dados foram retirados dos fornecedores online FilipeFlop, Eletrogate e UsinaInfo.

**Tabela 1** - Relação de componentes do Irriga+

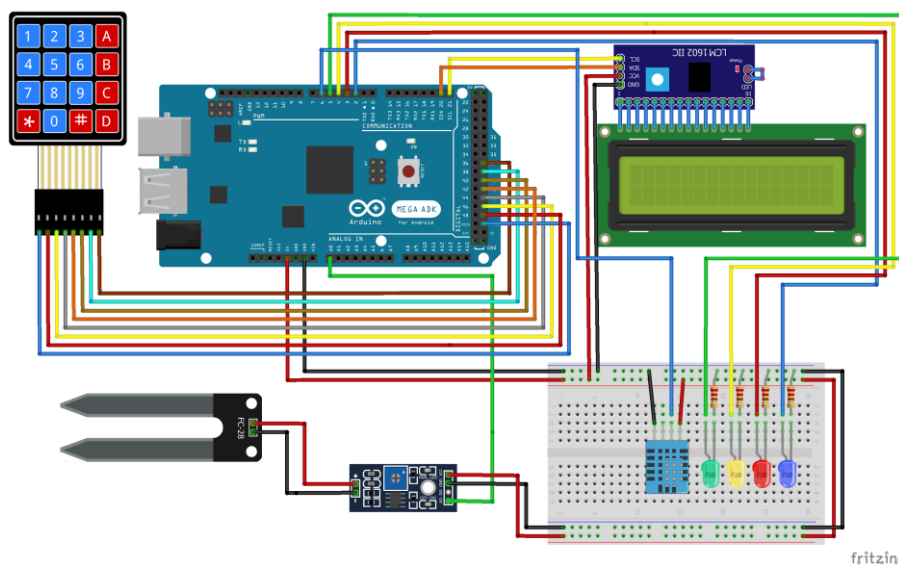
COMPONENTES	ESPECIFICAÇÕES
	Nome: Placa de Prototipação Eletrônica Função: Hospedar a aplicação embarcada, responsável por atender e enviar as requisições das portas de entrada e saída e executar as funcionalidades do protótipo. Modelo: MEGA ADK Compatível Valor Aproximado: R\$ 207,01
	Nome: Protoboard Função: Placa com furos e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos experimentais que dispensam solda dos contatos. Modelo: 400 pontos Valor Aproximado: R\$ 13,90
	Nome: Sensor de Umidade do Solo Função: Realizar a medição da umidade por meio da aferição da corrente entre as sondas. Modelo: HL-69 Valor Aproximado: R\$ 9,90
	Nome: sensor de temperatura e umidade do ar Função: Fazer medições usando escalas de 0 a 50° graus Celsius para temperatura e de 20 a 90% para a umidade do ar. Modelo: DHT11 Valor Aproximado: R\$ 13,90
	Nome: Display LCD Função: Exibir mensagens Modelo: Display LCD 20x4 (20 caracteres por linha x 4 linhas) Valor Aproximado: R\$ 44,00

	<p>Nome: Módulo I2C          Função: Conectar LCDs às placas Arduino economizando portas          Modelo: Adaptador para LCD 20x4          Valor Aproximado: R\$ 9,90</p>
	<p>Nome: teclado matricial          Função: Promover a interação do usuário com o protótipo.          Modelo: Alfanumérico 16 dígitos          Valor Aproximado: R\$ 11,90</p>
	<p>Nome: LED          Função: Emitir luz de acordo com os limites hídricos informados.          Modelo: cores variadas          Valor Aproximado: R\$ 0,24</p>
	<p>Nome: jumpers          Função: Conduzir eletricidade entre os componentes do protótipo.          Modelo: fios de extensão variada          Valor Aproximado: R\$ 12,90</p>
	<p>Nome: resistores          Função: Controlar a corrente elétrica harmonizando as necessidades dos componentes.          Modelo: resistores variados          Valor Aproximado: R\$ 2,45</p>

FONTE: O autor

Utilizando o software Fritzing foi desenvolvido um esquema de ligação dos componentes do protótipo, para que as funcionalidades planejadas pudessem ser viabilizadas, veja na figura 2.

Figura 2 - Esquema de ligação entre componentes e a placa de prototipação.



Fonte: O autor

A figura 2 fornece uma visão geral do esquema de ligação dos componentes do protótipo. Uma explicação mais detalhada, dada na sequência, considera uma divisão didática entre componentes para entrada de dados, processamento e saída de informações.

O teclado matricial foi incorporado para permitir que a configuração fosse efetuada diretamente no dispositivo, dispensando outros equipamentos. Ele necessita de oito entradas digitais para o seu funcionamento, sendo as quatro primeiras responsáveis pelas transmissões das linhas e as quatro últimas têm sua responsabilidade voltada para as colunas.

A captura da umidade do solo, por meio do sensor, usa a saída A0 do módulo com a saída A0 da placa Arduino. É necessário energizar o módulo ligando ao pino 5V e ao pino GND (abreviação do inglês ground, popularmente conhecido como terra em português) nas respectivas saídas da placa. O módulo de captura da temperatura e umidade do ar, denominado DHT11, teve seu primeiro pino ligado à saída 5V, o segundo é o pino de dados e deve ser conectado a qualquer entrada analógica, o terceiro pino não foi utilizado e o quarto precisa ser ligado ao GND.

Segundo Banzi e Shiloh (2015), a placa Arduino é responsável por processar os dados disponibilizados pelos componentes de entrada e enviar aos componentes de saída o resultado do processamento. Serve como núcleo da aplicação, executando os procedimentos registrados em sua memória através da programação nela embarcada. Ao ser energizada, iniciam-se todos os processos e conseqüentemente a alimentação dos demais módulos e componentes conectados a ela.

É interessante ressaltar que toda a lógica para o funcionamento da aplicação fica disponível no interior da placa. O código fonte foi escrito em linguagem C por meio do ambiente de desenvolvimento integrado denominado Arduino IDE, disponível no site [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Esse IDE não é a única opção, porém, tornou-se a escolha para esse estudo pela rapidez e leveza com que é possível programar, transferir e testar a aplicação. Além de possuir vasta comunidade acadêmica credenciada a tirar dúvidas e contribuir indiretamente para o sucesso desse desafio.

McRoberts (2015) explica que, apesar de o display LCD ser um dispositivo que exibe dados após processamento, também é amplamente utilizado para confirmar os dados de entrada, assim como aconteceu no Irriga+. Para tanto, acoplou-se ao mesmo um módulo I2C que atuou como um facilitador para a comunicação entre o display e a placa Arduino.

Os LEDs sinalizam quando é necessário irrigar. O LED vermelho indica que o nível de umidade do solo se encontra baixo, ou seja, seco. O LED amarelo indica o nível intermediário ou parcialmente úmido e o LED verde indica que o solo se encontra úmido, ou seja, em condições ideais para o desenvolvimento das mudas. O LED azul indica a mudança do idioma padrão, no caso de português para inglês ou espanhol.

Por fim, com os componentes auxiliares como a protoboard, resistores e jumpers efetuou-se todas as ligações do circuito sem a necessidade de soldar os componentes, além da harmonização dos níveis de corrente elétrica do circuito, conforme orienta Evans, Noble e Hochenbaum (2013).

### 3.3 Desenvolvimento e Validação

Para acomodar os componentes e permitir que o horticultor interagisse com um protótipo assemelhado a um produto, optou-se pelo reaproveitamento de uma caixa de acrílico, posteriormente adesivada. As características físicas do protótipo podem ser conferidas nas Figuras 3 e 4. A Figura 3 privilegia uma visão frontal, enquanto a figura 4 enfoca a parte interna.

**Figura 3** - Vista frontal do Irriga+

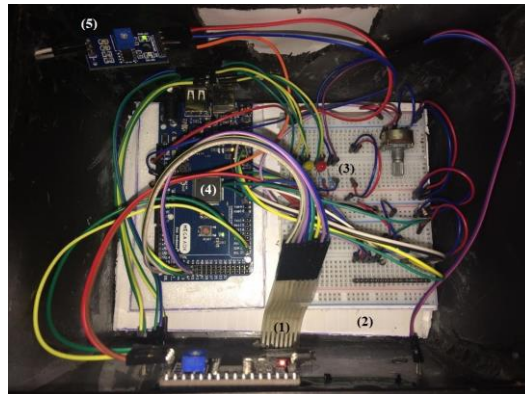


Fonte: O autor

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.4, n.4, outubro de 2019.

Na parte superior frontal o protótipo contém um display LCD e um teclado logo abaixo. O teclado possui caracteres numéricos de 0 a 9 e alfanuméricos de A até D, estes foram usados para acionar as funções de configuração. À esquerda do teclado estão os LEDs, que permitem uma visualização mais rápida da umidade do solo das mudas monitoradas. Do lado direito, o LED azul sinaliza a alteração do idioma padrão para outro alternativo.

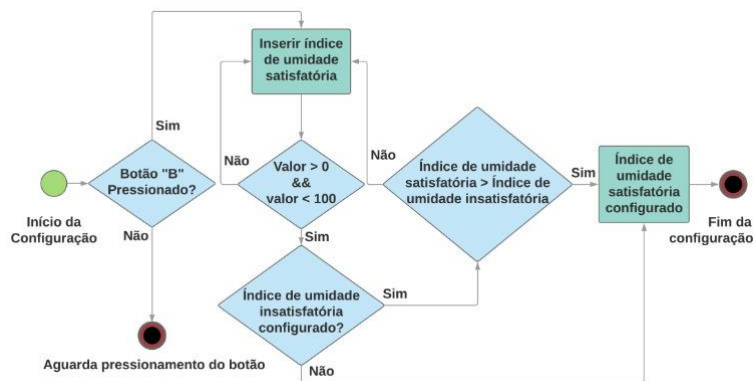
**Figura 4** - Vista inferior do Irriga+



Fonte: O autor

A figura 4 contém números para auxiliar na verificação: (1) da conexão do display LCD com a placa; (2) do uso de isopor para evitar problemas de contato durante o transporte; (3) das protoboards que conectam resistores, LEDs internos e um potenciômetro que regula a intensidade da emissão de luz do LCD; (4) da placa de prototipagem; e (5) do potenciômetro ajustável que faz parte do sensor de umidade e fica dentro do Irriga+. Os fluxogramas das Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 demonstram os processos lógicos de configuração.

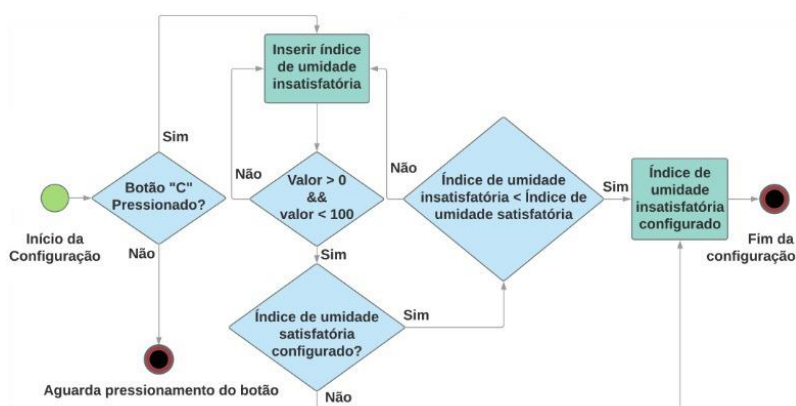
**Figura 5** - Fluxograma da primeira etapa de configuração



Fonte: O autor

Para iniciar a primeira etapa é preciso pressionar o botão B no teclado para incluir o índice de umidade satisfatória. Na sequência insira o valor desejado e pressione botão # (cerquilha) para salvar. Se o índice C estiver configurado será verificado se o valor de B é maior que o valor de C, caso contrário será averiguado se o valor é maior que zero (0) e menor que cem (100). Caso as condições descritas sejam satisfeitas, o sistema irá finalizar a primeira etapa da configuração e registrar as informações.

**Figura 6** - Fluxograma da segunda etapa de configuração

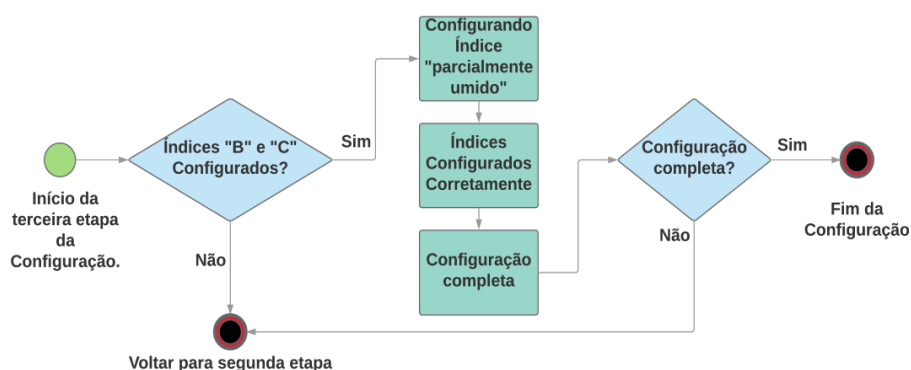


**Fonte:** O autor

Para iniciar a segunda etapa, ou seja, a configuração da umidade insatisfatória, é preciso pressionar botão C no teclado. Na sequência é necessário inserir o valor desejado e posteriormente pressionar botão # (cerquilha) para salvar. Se o índice B estiver configurado, será verificado se o valor de C é menor que o valor de B, caso contrário será averiguado somente se o valor inserido para o índice é maior que zero (0) e menor que cem (100). Caso as condições descritas sejam satisfeitas o sistema irá finalizar a segunda etapa da configuração e registrar as informações.

Não há uma ordem preestabelecida de qual limite de umidade deve ser configurado primeiro. Em qualquer um dos casos, os intervalos são testados com os limites de 0 a 100, pois, essa é a faixa que o sensor de umidade do solo usa. Durante a configuração do Irriga+ é preciso respeitar a regra de negócio que exige que o limite para solo seco deve ser, necessariamente, menor ou igual ao solo úmido.

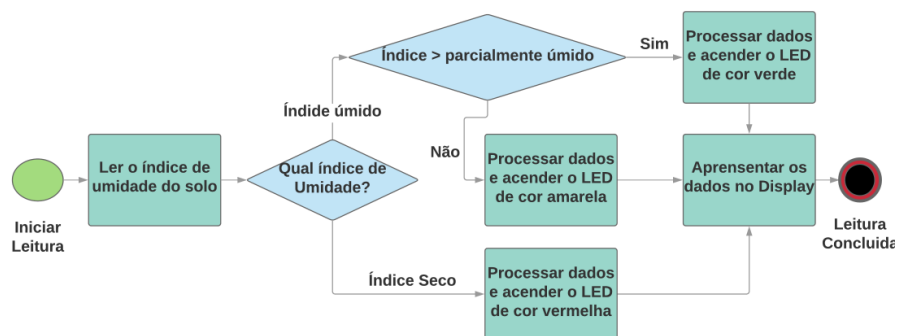
**Figura 7** - Fluxograma da terceira etapa para configuração do protótipo



Fonte: O autor

Após serem configurados corretamente os índices B e C, o sistema irá, por meio do cálculo de média simples, calcular o índice intermediário que é denominado Parcialmente Úmido. Com esse procedimento finalizado a configuração estará completa. Na sequência, uma mensagem informará ao usuário que o equipamento está apto a começar a leitura dos sensores.

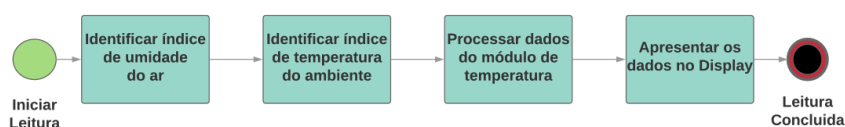
**Figura 8** - Fluxograma da leitura dos índices de umidade do solo



Fonte: O autor

De acordo com as configurações executadas nos passos anteriores, será aceso o LED correspondente ao nível hídrico do momento e os dados serão apresentados no display LCD, finalizando o ciclo do processo de leitura. O sistema repete este processo a cada um segundo.

**Figura 9** - Fluxograma da leitura dos índices de umidade e temperatura do ar



Fonte: O autor

### 3.4 Estudo de Caso

Os testes foram realizados em um ambiente de produção com a ajuda do horticultor responsável. O experimento foi conduzido no mês de novembro de 2018, no município de São João do Caiuá/Paraná/Brasil, situado a 470 m de altitude e com coordenadas geográficas 22° 51' 44" de latitude sul e 52° 20' 45" de longitude oeste de Greenwich. A cidade possui clima subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Dados disponíveis em <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-sao-joao-do-caiua.html>.

O sistema de classificação climática de Köppen-Geiger é baseado na vegetação, temperatura e pluviosidade, e apresenta um código de letras que designam grandes grupos e subgrupos climáticos, além de subdivisões para distinguir características estacionais de temperatura e pluviosidade. A zona climática da região do experimento é classificada como Cfa – clima subtropical úmido, com média do mês mais quente acima de 22°C e do mês mais frio abaixo de 18 °C, isento de estiagem nítida, verão quente e menor frequência de geadas. Tal informação é um indicativo útil para planejar o cultivo de hortaliças.

O arenito Caiuá, tipo de solo comum na região Noroeste do Paraná onde ocorreram os testes, é solo menos fértil se comparado, por exemplo, a terra roxa mais comum na região Norte do Estado. Porém, com a devida atenção ao manejo da água, é possível cultivar hortaliças com sucesso. Diante da variedade das hortaliças disponíveis para testes, optou-se por usar mudas de alface devido à compatibilidade com o comprimento do sensor de umidade. Além do fato da alface ser especialmente suscetível ao estresse hídrico devido aos seus sistemas radiculares rasos. Por isso, apresentou-se como opção desafiadora para o experimento.

O lote de alface testado era composto por quinhentas mudas, uma foi usada como referência e outras cinco, distribuídas pelo lote, foram usadas para validação dos índices hídricos, conforme pode ser conferido na Figura 10.

**Figura 10** - Protótipo executando as leituras em ambiente de produção



**Fonte:** O autor

Na primeira bateria de testes o usuário configurou o protótipo da seguinte forma: índice úmido com 80%, ou seja, de 80% a 100% o solo da muda está úmido, o índice seco com 40%, isto é, de 0% a 40% o solo se encontra com índice insuficiente para o cultivo de mudas. O índice parcialmente úmido foi calculado pela média simples entre os valores 41% a 79%. A informação do índice parcialmente úmido é útil para que a mudança de situação do solo não ocorra bruscamente, mantendo o usuário alerta.

De outra forma, o usuário testou o protótipo configurando-o da seguinte forma: índice úmido com 75%, ou seja, de 75% a 100% o solo é considerado úmido. Já o índice seco também usou a mesma medida, 75%, isto é, de 0% a 74% o solo apresenta índice insuficiente para o cultivo de mudas. Nesta situação, apenas os índices de umidade satisfatória ou insatisfatória são exibidos.

Os testes foram realizados em condições climáticas diferentes para verificar como as necessidades hídricas das mudas poderiam interferir no uso do protótipo. As mudas de alface gostam de sol, precisam de luminosidade direta a maior parte do dia, porém, próximo às 12h00min até às 15h00min os cuidados precisam ser redobrados, visto que a planta gosta de solo bem drenado e este intervalo de horário propicia a rápida evaporação da água, levando a níveis de umidade preocupantes. Foi cogitada a realização do experimento em horários alternativos, mas o horticultor dispensou os testes noturnos visto que as mudas não necessitam de irrigação neste período.

O manejo da irrigação foi realizado por aspersão manual, ou seja, tubos perfurados ou chuveiros que requerem o manuseio de mão-de-obra. Técnica que exige pouco investimento inicial em equipamentos, porém, com perdas significativas discutidas na próxima seção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o experimento obtiveram-se os seguintes níveis de umidade nas amostras monitoradas. No primeiro caso, com os índices 40% para seco, 60% para parcialmente úmido e 80% para úmido, as leituras iniciais e as leituras após a irrigação foram as seguintes:

**Tabela 2** - 1ª Leitura do Irriga+ para o primeiro experimento

Data:		22/11/2018	
Horário:		12:00	
Temperatura e umidade do ar:		28°C – 65%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	35%	85%	00:05:00
Muda monitorada 01	32%	83%	00:05:00
Muda monitorada 02	36%	87%	00:05:00
Muda monitorada 03	34%	85%	00:05:00
Muda monitorada 04	38%	91%	00:05:00
Muda monitorada 05	33%	82%	00:05:00

Fonte: O autor

**Tabela 3** - 2ª Leitura do Irriga+ para o primeiro experimento

Data:		23/11/2018	
Horário:		14:00	
Temperatura e umidade do ar:		30°C – 54%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	26%	90%	00:07:30
Muda monitorada 01	25%	95%	00:08:00
Muda monitorada 02	21%	100%	00:09:21
Muda monitorada 03	22%	97%	00:08:05
Muda monitorada 04	28%	85%	00:07:00
Muda monitorada 05	24%	82%	00:06:55

Fonte: O autor

**Tabela 4 - 3ª Leitura do Irriga+ para o primeiro experimento**

Data:		24/11/2018	
Horário:		15:00	
Temperatura e umidade do ar:		29°C – 53%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	51%	91%	00:05:00
Muda monitorada 01	53%	93%	00:04:30
Muda monitorada 02	55%	100%	00:05:55
Muda monitorada 03	52%	85%	00:04:05
Muda monitorada 04	58%	98%	00:05:00
Muda monitorada 05	56%	80%	00:03:50

**Fonte: O autor**

Para o segundo cenário, com o índice de umidade satisfatório de 75%, as leituras de conferência foram as seguintes:

**Tabela 5 - 1ª Leitura do Irriga+ para o segundo experimento**

Data:		22/11/2018	
Horário:		12:00	
Temperatura e umidade do ar:		28°C – 65%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	34%	85%	00:05:00
Muda monitorada 01	33%	82%	00:05:00
Muda monitorada 02	32%	83%	00:05:00
Muda monitorada 03	38%	91%	00:05:00
Muda monitorada 04	35%	85%	00:05:00
Muda monitorada 05	36%	87%	00:05:00

**Fonte: O autor****Tabela 6 - 2ª Leitura do Irriga+ para o segundo experimento**

Data:		23/11/2018	
Horário:		14:00	
Temperatura e umidade do ar:		30°C – 54%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	26%	90%	00:08:00
Muda 01	25%	95%	00:07:30
Muda 02	21%	100%	00:09:21
Muda 03	22%	97%	00:08:05
Muda 04	28%	85%	00:07:20
Muda 05	24%	82%	00:06:55

**Fonte: O autor**

**Tabela 7** - 3ª Leitura do Irriga+ para o segundo experimento

Data:		24/11/2018	
Horário:		15:00	
Temperatura e umidade do ar:		29°C – 53%	
Identificação da muda	Leitura inicial	Leitura após a irrigação	Tempo de irrigação
Muda de Referência	58%	98%	00:05:00
Muda monitorada 01	56%	80%	00:03:50
Muda monitorada 02	55%	100%	00:05:55
Muda monitorada 03	53%	93%	00:04:30
Muda monitorada 04	51%	91%	00:05:00
Muda monitorada 05	52%	85%	00:04:05

**Fonte: O autor**

A responsabilidade pelas configurações dos índices de umidade foi do horticultor, a experiência de dez anos do mesmo foi de extrema importância para o estudo, pois, é imprescindível que se conheça quais os níveis ideais de umidade que supram as necessidades das mudas, considerando o tipo de solo e a zona climática. Destaca-se que caso o usuário não tenha o conhecimento necessário para a configuração do protótipo será necessária a realização de testes empíricos para chegar aos valores ideais.

Com a leitura dos índices antes e após a irrigação percebeu-se que, apesar do uso do protótipo, o método de irrigação empregado ocasiona divergência nos índices, pois, enquanto a muda de referência foi bem hidratada algumas das demais não receberam a mesma quantidade de água, apresentando níveis hídricos diferentes. Esse resultado indica que o protótipo, para apoiar o controle do estresse hídrico das mudas, precisa estar articulado a uma solução de irrigação mais uniforme.

Outra consideração diz respeito ao ambiente de produção. Os experimentos foram realizados em espaços sem tela sombrite, ou seja, telas furadas usadas na cobertura do cultivo agrícola, o que expõe as hortaliças às condições adversas como geadas, vento, granizo, excesso de chuva e altas temperaturas, cenários que podem exigir mais que uma irrigação por dia. A cobertura do espaço de produção com esse tipo de material poderia significar uma economia no gasto com a água.

É válido ressaltar que o presente trabalho não realizou uma estimativa sistemática do estado energético da água, que de acordo com Boas et al. (2007), auxilia na determinação das quantidades apropriadas e do tempo de irrigação para o cultivo da alface. Tais informações são obtidas da leitura constante do sensor de umidade, essa estratégia consegue indicar a necessidade de irrigação de forma adaptada a qualquer variação climática, tipo do solo ou estação do ano.

Nessa etapa do estudo, considerando os resultados obtidos e as expectativas iniciais, verificou-se que há componentes de prototipagem eletrônica capazes de monitorar a situação hídrica de mudas com características semelhantes às da alface, de forma consistente. Porém, no decorrer da implementação foi diagnosticado dois problemas relacionados ao sensor, por tratar-se de um componente experimental. O primeiro diz respeito à robustez, o sensor pode romper-se com certa fragilidade, pois, durante a execução dos testes percebeu-se desgaste acentuado das lâminas, exigindo cuidado extra no manuseio durante a inserção do mesmo dentro do solo das mudas. O segundo diz respeito ao tamanho reduzido, dificultando o uso do protótipo em hortaliças com mudas maiores que 5 (cinco) centímetros.

## **5 CONCLUSÃO**

O desenvolvimento de um protótipo para controle do manejo de irrigação de hortaliças e a realização do estudo de caso subsidiaram algumas conclusões no decorrer deste trabalho. A primeira é que há tecnologia de prototipação eletrônica capaz de contribuir para minimizar ou evitar o estresse hídrico de mudas de hortaliças, oferecendo informações úteis para a tomada de decisão. A presente pesquisa confirmou essa hipótese.

A solução proposta fez uso de informações advindas de sensores de temperatura e umidade do ar e de umidade do solo para indicar a necessidade de irrigação. Além disso, o protótipo incluiu a estratégia de personalização dos níveis de umidade permitindo a configuração adequada a qualquer tipo de solo e zona climática.

Todavia, neste cenário, a experiência do usuário acelera a eficácia no uso do protótipo, caso contrário, testes empíricos serão necessários para ajustar as configurações.

Como suposto inicialmente, o uso de componentes experimentais exigiu atenção com alguns objetivos específicos levando a outros apontamentos. A construção do protótipo é viável, podendo, inclusive, ser miniaturizado para facilitar a sua movimentação e acomodação no ambiente de produção. Os componentes eletrônicos foram encapsulados em uma caixa de acrílico para oferecer a proteção necessária durante a irrigação. O material usado foi eficiente, porém, acredita-se que as dimensões e o peso podem ser reduzidos levando o protótipo para uma versão mais refinada.

A fonte de alimentação necessária para alimentar o circuito pode ser provida pelo uso de baterias recarregáveis, altamente disponíveis em mercados e lojas especializadas. Uma outra opção igualmente interessante seria a geração da eletricidade necessária para alimentar o circuito pela captação da radiação solar, o que é possível empregando placas fotovoltaicas em uma solução de bateria *off-grid*, já que o ambiente de produção é exposto ao sol. Porém, é preciso avaliar devidamente a viabilidade financeira.

Devido ao comprimento do sensor de umidade do solo, o uso do protótipo em outras variedades de hortaliças dependerá do tamanho do sistema radicular das mesmas, além disso, o sensor utilizado não é adequado para culturas hidropônicas. Após a realização de pesquisas em busca de novos sensores verificou-se a existência de opções menos experimentais e mais robustas, bem como capacidade de leitura mais profunda, entretanto, com custo mais elevado.

O investimento na compra dos componentes do protótipo foi de R\$ 349,90 (trezentos e quarenta e nove reais e noventa centavos). No entanto, com um investimento dessa ordem não é leviano acreditar que o horticultor poderá, em pouco tempo, ter o retorno do valor investido por meio de economia com água, além de contribuir com o meio ambiente. Porém, carece a realização de um estudo comparativo.

Findando os objetivos estabelecidos inicialmente, percebeu-se que o estado atual do protótipo pode ser aproveitado para novos testes em espaços de produção cobertos, estações do ano diferentes, bem como com hortaliças semelhantes a alface. Além disso, a constatação de que o protótipo pode evoluir para um sistema de irrigação mais completo, permitiu vislumbrar trabalhos futuros adicionando funcionalidades responsáveis por: (1) automatizar a irrigação com controle de vazão da água; (2) incluir a leitura do pH da água para considerar o poder de hidratação durante a irrigação; (3) permitir aprender e decidir qual o comportamento esperado para a irrigação durante as diferentes épocas de cultivo.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Language Reference**. Disponível em: <[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)>. Acesso em: 22 set. 2018.

Banzi, M. e Shiloh, M. **Primeiros Passos com o Arduino**. 2ª ed., São Paulo: Novatec, 2015.

Boas, R. C. V. et al. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.11, n.4, 2007, p.393–397.

Brown, T. **Design Thinking: Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 249p.

ELETROGATE. Site Oficial. Disponível em: <[www.eletrogate.com](http://www.eletrogate.com)>. Acesso: 22 set. 2018.

Evans, M., Noble, J. e Hochenbaum, J. **Arduino em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

FILIFELOP. Site Oficial. Disponível em: <[www.filipeflop.com](http://www.filipeflop.com)>. Acesso em: 22 de set. 2018.

Marouelli, W. A. e Calbo, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com Sistema Irrigas**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009.

**Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.4, n.4, outubro de 2019.**

Marouelli, W. A., Freitas, V. M. T. e Costa Júnior, A. D. **Guia prático para uso do Irrigas na produção e hortaliças**. 1ª ed., Brasília: Embrapa Hortaliças. 2010. ISBN 978-85-86413-21-6.

McRoberts, M. **Arduino Básico**, 2ª ed., São Paulo: Novatec, 2015.

Rozenfeld, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria de processo**. São Paulo: Saraiva. 2006. 542p.

Santos, F. A. O. et al. Protótipo de um sistema de irrigação baseado em IoT para pequenos e médios produtores rurais. **Acta Tecnológica**: revista do Instituto Federal do Maranhão (IFMA), v.12, nº 1, 2017.

USINAINFO. Site Oficial. Disponível em: <[www.usinainfo.com.br](http://www.usinainfo.com.br)>. Acesso em: 23 set. 2018.

**Edição especial** – Edição Temática sobre tecnologia da informação

**Enviado em:** 10 mar. 2019

**Aceito em:** 28 mai. 2019

**Editores responsáveis:** Eduardo Henrique Molina Da Cruz/Wilian Nalepa Oizumi/ Mateus das Neves Gomes