

AGRO4U: SISTEMA INTEGRADO DE IRRIGAÇÃO EM ARDUINO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

AGRO4U: ARDUINO INTEGRATED IRRIGATION SYSTEM FOR PRECISION AGRICULTURE

Lissa Y. Inoue¹, Paulo C. S. Junqueira², Fabiana P. M. Caravieri³

¹Faculdade de Tecnologia Professor José Camargo – Fatec Jales, lissa.inoue@fatec.sp.gov.br

²Faculdade de Tecnologia Professor José Camargo – Fatec Jales, paulo.junqueira@fatec.sp.gov.br

³Faculdade de Tecnologia Professor José Camargo – Fatec Jales, fabiana.caravieri@fatec.sp.gov.br

Informação e Comunicação

Subárea: Banco de Dados, Engenharia e Desenvolvimento de Software

RESUMO

A agricultura de precisão é uma abordagem tecnológica que permite a gestão mais eficiente e sustentável da produção agrícola. Essa tecnologia faz o uso de sensores, imagens de satélite, drones e outras, para análise e coleta de dados em tempo real, como, por exemplo, condições de solo, clima e culturas. Desse modo, a agricultura de precisão impacta significativamente a produtividade, redução dos custos de produção e na melhoria da qualidade dos produtos agrícolas. Nesse sentido, a proposta deste trabalho é a implementação de um sistema automático de irrigação para o cultivo da alface, desenvolvido com a plataforma Arduino, integrado a um sistema *web* com tecnologia responsiva e alicerçado nos conceitos da Engenharia de Software e programação orientada a objetos com a linguagem JavaScript e banco de dados não relacional Firebase. Dessa maneira, esse sistema realiza o monitoramento da umidade do solo da área cultivada, assim como, utilização da água, por meio de sensores conectados à uma placa Arduino que enviam as informações aos dispositivos móveis e/ou computadores conectados à uma rede de *internet*. Assim sendo, o sistema proposto neste trabalho promove um maior aproveitamento da produtividade e, conseqüentemente, redução do trabalho e tempo investido nesses cultivos.

Palavras-chave: agricultura de precisão; irrigação; cultivo.

ABSTRACT

Precision agriculture is a technological approach that enables more efficient and sustainable management of agricultural production. This technology uses sensors, satellite imagery, drones, and other tools for real-time data analysis and collection, such as soil conditions, weather, and crops, for example. In this way, precision agriculture significantly impacts productivity, reduces production costs, and enhances the quality of agricultural products. In this context, the proposal of this project is the implementation of an automated irrigation system for lettuce cultivation, developed with the use of the Arduino platform, integrated with a web system featuring responsive technology and grounded in the principles of software engineering and object-oriented programming with the JavaScript language and a non-relational Firebase database. Thus, this system monitors soil humidity in the cultivated area, as well as water use, using sensors connected to an Arduino board that send information to mobile devices and/or computers connected to an internet network. Therefore, the proposed system in this paper promotes greater use of productivity and consequently, a reduction in work and spent time in these crops.

Keywords: precision agriculture; irrigation; cultivation.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos principais pilares para o desenvolvimento da humanidade, desempenhando papéis fundamentais na economia, na geração de empregos e no desenvolvimento de comunidades em todo o mundo. Um aspecto igualmente importante desse cenário é a agricultura familiar, que representa uma parcela significativa da produção agrícola global. No Brasil, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agricultura familiar é responsável por mais de 70% dos alimentos consumidos internamente, destacando sua contribuição para a segurança alimentar e a sustentabilidade do país.

À medida que a tecnologia avança, a agricultura de precisão emerge como uma abordagem cada vez mais proeminente neste setor vital. Essa técnica envolve a aplicação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) com o objetivo de otimizar a produção agrícola, reduzir custos e mitigar os impactos ambientais. Nesse cenário, a área TIC desempenha um papel fundamental na transformação da agricultura moderna.

A agricultura de precisão é uma abordagem tecnológica que permite a gestão mais eficiente e sustentável da produção agrícola. De acordo com Lamparelli (2022), os fundamentos da agricultura de precisão moderna vieram do início do século XX, e se consolidaram como uma prática viável a partir da década de 1980, graças ao desenvolvimento de microcomputadores, softwares e sensores. Contudo, esse conceito surgiu antes mesmo da Revolução Industrial, como uma técnica que busca o melhor rendimento de culturas, levando em consideração fatores diversos.

Um dos principais avanços na agricultura de precisão é o uso da irrigação automática. A irrigação é fundamental para a produção agrícola em muitas regiões, mas o uso excessivo de água pode causar problemas ambientais, como a degradação do solo e a falta de água.

Portanto, vale ressaltar a importância de um sistema de irrigação automática no combate à escassez de recursos, pois permite que os agricultores usem apenas a quantidade necessária de água, garantindo que suas culturas recebam a quantidade ideal e evitando o desperdício de recursos naturais, visto que o cultivo agrícola tende a ser um dos grandes responsáveis pelo gasto de água mundial. Segundo Montoya e Finamore (2019), as atividades do agronegócio são responsáveis por 18,85% do uso da água e por cerca de 90% do seu consumo no país. Dessa forma, a adoção desses sistemas também contribui para a diminuição de impactos ambientais.

A irrigação automática é um exemplo de como a agricultura de precisão pode ajudar os agricultores a aumentarem sua produção de forma mais eficiente e sustentável. Com o avanço contínuo das tecnologias de agricultura de precisão, é possível que a agricultura se torne cada vez mais inteligente, eficiente e produtiva.

Com base no exposto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de irrigação automática. O Agro4U visa ajudar principalmente os pequenos produtores, de maneira viável e de fácil utilização, sendo destinado a áreas de cultivo menos extensas. O sistema de irrigação automática é desenvolvido em Arduino por meio de sensores que monitoram a umidade do solo e temperatura do ambiente. O sistema realiza o controle da irrigação por aspersão e todas as informações são transmitidas tanto para dispositivos móveis como computadores.

Este trabalho está estruturado em cinco seções, sendo constituída, primeiramente, pela introdução, justificativa e sua organização. Posteriormente, na *Seção 2* é exibido o referencial teórico, no qual são apresentados softwares semelhantes ao sistema proposto e o contexto geral em relação ao tema do projeto. A metodologia aplicada é apresentada na *Seção 3*, assim como as tecnologias utilizadas na construção do projeto, incluindo conceitos da modelagem UML (*Unified Modeling Language*) com finalidade de documentar os requisitos juntamente a determinadas telas do sistema. Na *Seção 4*, são discutidos e demonstrados os resultados do

software web formulado. E, finalizando com a *Seção 5*, o qual mostra as considerações finais referentes a este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que combina *hardware* e *software* de forma acessível, flexível e intuitiva. Ela é voltada para uma ampla gama de campos de conhecimento, com foco especial em computação, eletrônica, mecatrônica e robótica. Inclusive é adequada para qualquer indivíduo que queira criar objetos ou ambientes interativos (Oliveira *et al.*, 2020). Para operacionalizar esse processo, é essencial que haja interação entre o hardware e o usuário. Essa interação é facilitada por uma linguagem de programação simplificada e direta, conhecida como Arduino, que se baseia na linguagem Wiring. Além disso, o Software Arduino, também chamado de Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), sendo construído com base na plataforma de programação Processing, conforme descrito pelo Arduino (2018). De acordo com Banzi e Shiloh (2014), a plataforma Arduino foi desenvolvida com o intuito de democratizar a tecnologia e torná-la mais acessível a um público amplo, incluindo estudantes, profissionais, entre outros.

Alguns projetos com a plataforma Arduino fazem a utilização de sensores, que são dispositivos eletrônicos utilizados para medir determinadas grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, umidade, entre outras. Esses dispositivos convertem as grandezas físicas em sinais elétricos que podem ser processados por outros dispositivos, como computadores e microcontroladores, permitindo análise e tomada de decisão com base nos dados obtidos.

Nessa direção, estudos que utilizam a plataforma Arduino colaboram para auxiliar e facilitar o trabalho de pessoas que desejam cuidar de plantas ou de produtores rurais, por exemplo, de hortaliças. Na literatura, há diversos estudos que mostram essa automatização de maneira simples e prática. Exemplos desses trabalhos são os de Cardoso e Klar (2017), Caravieri e Cardoso (2014) e Dhatri *et al.* (2019).

O trabalho de Cardoso e Klar (2017) discute questões de automação de irrigação em Arduino UNO R3, em sua abordagem é proposto o método de gotejamento. Nesse estudo foi efetuado o controle de irrigação na cultura da cana-de-açúcar. Já Caravieri e Cardoso (2014) utilizam um sistema com dois tipos de aspersores: nebulizador e *spray*, além de sensores de umidade do solo e do ar, em seu projeto de controle de irrigação de orquídeas também arquitetado em Arduino.

O estudo de Dhatri *et al.* (2019), propõe um sistema de irrigação de baixo custo utilizando os sensores de umidade de solo e desenvolvido em Arduino e um *display* de cristal líquido (LCD) para visualização das principais informações coletadas.

Para a elaboração deste trabalho, realizou-se a irrigação do cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.), uma hortaliça folhosa de ampla produção global, incluindo o Brasil. De acordo com Moura e Nobre (2022), essa cultura é cultivada em quase todo o território nacional e desempenha um papel significativo no mercado, sendo apreciada e consumida pela população devido ao seu sabor, valor nutricional e acessibilidade financeira.

Segundo Henz e Suinaga (2009), as cultivares de alface atualmente disponíveis no mercado brasileiro de sementes podem ser agrupadas em cinco tipos morfológicos principais, com base na formação de cabeça e tipo de folhas, sendo elas: Repolhuda lisa, Repolhuda Crespa ou Americana, Solta Crespa, Solta Lisa e Tipo Romana.

No presente momento, são identificados no Brasil pelo menos quatro sistemas de produção distintos para a alface: o método convencional e o sistema orgânico, ambos em ambientes ao ar livre; além do cultivo protegido através de hidroponia e no solo (Filgueira,

2003; Resende *et al.*, 2007). Cada um desses quatro sistemas se distingue por diversas características em termos de práticas agrícolas, assim como nos procedimentos após a colheita.

A irrigação também é importante, e deve ser realizada de forma constante para garantir o suprimento hídrico adequado. Nesse sentido, de acordo com Andrade e Brito (2021), a irrigação por aspersão pode ser categorizada em quatro tipos distintos: irrigação por superfície, aspersão convencional, irrigação localizada e subirrigação.

A técnica de irrigação por superfície consiste em direcionar água sobre a superfície do solo utilizando a gravidade. Suas principais vantagens abrangem: custos fixos e operacionais menores, emprego de equipamentos simples, resistência ao vento, consumo energético reduzido em relação à aspersão, não interferência nos cuidados com as plantas e viabilidade de uso de água com sólidos em suspensão.

Os aspersores constituem as peças principais de um sistema de aspersão. Têm a finalidade de pulverizar o jato de água, proporcionando a aplicação da irrigação na forma de chuva. Os aspersores podem ser estacionários ou rotativos (Stone, 2023). Ainda de acordo com Stone (2023), o método de aspersão possibilita o bom controle da quantidade de água. De modo geral, a eficiência do método é ao redor de 70%, podendo alcançar 90% em alguns sistemas ou até 50% em condições severas de clima.

Os principais sistemas de irrigação localizada incluem o gotejamento, a microaspersão e o gotejamento subsuperficial. Outra técnica, a subirrigação, mantém o lençol freático em profundidades adequadas para suprir água à zona radicular das plantas, muitas vezes em conjunto com um sistema de drenagem subsuperficial. Vale destacar que a subirrigação frequentemente é vista como uma alternativa de menor custo (Andrade; Brito, 2021).

É válido destacar que o projeto desenvolvido neste trabalho também oferece a oportunidade de aplicação na técnica de cultivo hidropônico para o crescimento da alface. Na hidroponia, as plantas não crescem no solo, mas sim em substrato ou em uma solução nutritiva. Essa solução não é apenas água pura; ela contém uma combinação completa de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, boro, manganês, cobre, zinco e molibdênio. (Lana; Guedes, 2021). A adaptação do sistema de irrigação é a única modificação necessária para implementar essa técnica. Além disso, a automação desempenha um papel crucial ao economizar tempo e recursos, aprimorando significativamente a eficiência e o controle do cultivo hidropônico. No contexto específico, a plataforma Arduino pode ser integrada a sensores de pH e condutividade elétrica para monitorar de forma contínua a qualidade da solução nutritiva, permitindo ajustes automáticos para manter os níveis ideais de nutrientes.

3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi conduzido um estudo bibliográfico com base em artigos acadêmicos nacionais e internacionais provenientes de bases científicas, como: *IEEE Xplore Digital Library*, *ACM Digital Library* e *Google Scholar*, além de diversos sites e livros relacionados ao cultivo de hortaliças e métodos de irrigação disponíveis na biblioteca da Fatec Jales.

Após o levantamento bibliográfico, foi aplicada uma pesquisa de campo com 97 pessoas que opinaram a respeito da utilização e sobre fatores adjacentes que poderiam contribuir para a necessidade da utilização de um sistema de irrigação automático. Essa pesquisa foi aplicada no período de abril a maio de 2023, por meio de formulário on-line desenvolvido na plataforma *Google Forms*, e disponibilizada por meio da rede social *Whatsapp*.

O propósito dessa elicitação de requisitos aborda as dificuldades anteriormente identificadas por meio de 10 perguntas. A pesquisa é centrada em compreender as opiniões e preocupações dos entrevistados quanto aos custos ligados ao consumo de água e à acessibilidade às tecnologias capazes de administrar eficazmente essas despesas.

Nesse contexto, o sistema desenvolvido neste estudo, denominado “**Agro4U**”, apresenta uma solução que aborda a demanda por um sistema de irrigação automatizado de baixo custo, com acessibilidade e simplicidade. Convém destacar a relevância desse sistema automatizado não apenas na redução dos gastos relacionados à água, mas também na otimização do tempo que normalmente seria dedicado à irrigação manual.

A área de cultivo escolhida para o desenvolvimento deste estudo possui dimensões de 130cm x 100cm, e o solo utilizado é categorizado como arenoso. Esse tipo de solo se destaca pela grande proporção de areia em sua composição, sendo 70% de areia e 15% de argila (Campos, 2020). Esse tipo de solo também é considerado mais suscetível à degradação e à perda de capacidade produtiva, quando comparado aos de textura mais fina. Além disso, a baixa proporção de argila e de matéria orgânica faz essa variedade de terra ter baixa retenção de nutrientes e de água (Campos, 2020). Desta forma, esse tipo de solo demanda mais cuidados especiais com a irrigação e o fornecimento adequado de água às plantas.

Para a realização do sistema proposto neste trabalho, foi selecionada a variedade de alface do tipo crespa, dentre as citadas na *Seção 2*. Essa variedade é cultivada em diversas regiões do mundo e pode ser cultivada durante todo o ano. Além disso, a alface é uma das verduras mais versáteis e fáceis de cultivar em solo arenoso. Ela não exige muitos nutrientes do solo e cresce rapidamente (Souza, 2023).

O método de irrigação por Aspersão foi o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho. Este método traz consigo vantagens, como: adaptação a diferentes tipos de solo e terreno, possibilidade de automação, mobilidade para outras áreas e facilidade de desmontagem das tubulações (Stone, 2023).

Foram realizados experimentos com o cultivo de alface em um ambiente externo com a utilização dos sensores e demais recursos, durante os meses de setembro a outubro de 2023. Neste experimento, foram implantados três sensores de umidade no solo, e um sensor de temperatura e umidade do ar, distribuídos ao longo da extensão do terreno. Os recursos utilizados nesse trabalho, assim como seus custos individuais, e, também o custo total das aquisições, estão relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Recursos utilizados

Qtd	Tipo de recurso	Funcionalidade do recurso	Valor
1	Bandeja de Alface	Cultivo escolhido para o plantio	R\$ 25,00
1	Caixa hermética preta	Proteção dos equipamentos	R\$ 27,84
1	Computador e dispositivos móveis	Testagem do sistema	-
1	Mangueira “3/4	Irrigação do plantio	R\$ 77,00
1	Micro aspersor	Irrigação do plantio	R\$ 15,50
1	Arduino Uno R3 + ESP 8266	Controle da parte física do sistema	R\$ 51,29
1	Protoboard	Controle da parte física do sistema	R\$ 18,99
3	Sensor de umidade do solo	Coleta de dados do ambiente	R\$ 45,00
1	Sensor de umidade e temperatura do ar	Coleta de dados do ambiente	R\$ 7,18
1	Servidor Virtual Privado (VPS)	Hospedagem do sistema	R\$ 420
1	Válvula solenoide eletrônica	Irrigação do plantio	R\$ 28,73
1	Relé	Irrigação do plantio	R\$ 14,99
1	Roteador Wi-Fi	Funcionamento do sistema web	R\$ 115,25
2	Tomadas	Funcionamento do sistema físico	R\$ 32,40
1	Conexão “T” PVC para cano	Irrigação do plantio	R\$ 16,99
1	Fita isolante	Funcionamento do sistema físico	R\$ 10,63
3	Jumpers(fios de conexão para Arduino)	Funcionamento do sistema físico	R\$ 55,00
Custo total			R\$ 961,69

Fonte: Elaborado pelos autores.

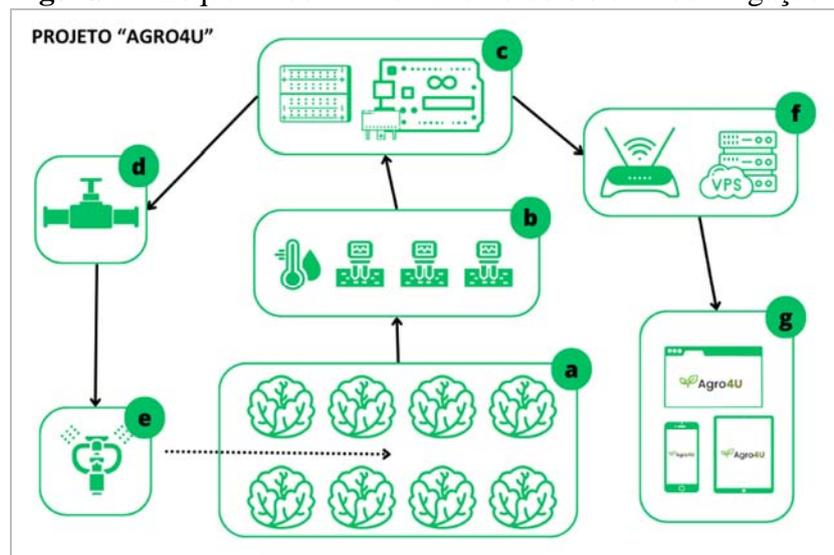
Os sensores de umidade do solo realizam medições no terreno sob estudo, capturando a umidade do substrato. Essas leituras são transmitidas à placa Arduino, que avalia a

concordância entre a umidade atual do substrato e as necessidades da alface para sua sobrevivência. Uma vez coletados, os dados são encaminhados à plataforma de prototipagem Arduino e, posteriormente, enviados por meio de conexões *Wi-Fi* e *Ethernet* para o dispositivo Android do cliente. Isso mantém o cliente atualizado sobre a condição de irrigação da planta, conforme ilustrado na Figura 1.

O esquema de funcionamento do sistema de irrigação automático (Figura 1) é constituído por uma série de etapas que estão interligadas como um todo. A primeira fase desse processo é iniciada na área de cultivo, Figura 1 (a), em que três sensores, Figura 1 (b), estrategicamente posicionados em toda a extensão da área de plantio realizam um monitoramento contínuo da temperatura ambiente e da umidade do solo.

As informações coletadas pelos sensores são encaminhadas para uma *proto board* ligada a placa Arduino, Figura 1 (c), que assume a responsabilidade de coordenar as operações subsequentes. Essa placa Arduino possui um Relé, Figura 1 (c), que ativa a válvula solenoide, Figura 1 (d), iniciando o fluxo de água para o aspersor, Figura 1 (d), proporcionando uma irrigação ajustada às necessidades do plantio. Todos os componentes presentes na Figura 1 (c) estão armazenados em uma caixa hermética para garantir sua proteção. Esses dados são transmitidos por meio de uma conexão *Wi-Fi*, Figura 1 (f), disponibilizando-os para acesso conveniente por meio de uma interface web e dispositivos móveis, Figura 1 (g). Esta abordagem integrada assegura a eficiência do sistema e oferece aos agricultores um controle abrangente sobre o processo de irrigação, contribuindo para um cultivo mais eficaz e sustentável.

Figura 1 – Esquema de funcionamento do sistema de irrigação “Agro4U”



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o desenvolvimento da modelagem do sistema “Agro4U” foram utilizados os conceitos e diagramas da UML que consiste em uma linguagem visual utilizada para modelar softwares baseados no paradigma de orientação a objetos (Guedes, 2011). A ferramenta escolhida para o processo de modelagem de software, bem como a criação dos diagramas de classes, atores e casos de uso, foi a ferramenta Astah UML que é uma aplicação específica para a criação de diagramas que aderem aos padrões da UML.

Neste trabalho, foram empregadas diversas ferramentas on-line para a gestão de tarefas e a realização de pesquisas. A plataforma Zoho Mail, oferecida pela Zoho Corporation, proporcionou um gerenciamento de e-mails baseado na nuvem. Similar ao Trello, favorece a organização e atribuição ágil de tarefas. A plataforma Notion foi adotada para a administração da pesquisa e na criação de seções personalizadas para cada etapa deste trabalho, melhorando

a visualização do progresso e a organização do conteúdo. A plataforma Microsoft Teams foi escolhida para a realização das reuniões on-line referentes a este trabalho. Na criação de aplicativos móveis e *web*, a plataforma Firebase da Google foi utilizada, oferecendo serviços abrangentes, como hospedagem, autenticação de usuários, análise de dados e um banco de dados em tempo real.

Para a prototipagem e design das interfaces do aplicativo móvel e do site foi utilizado a ferramenta Figma, para criação de interfaces responsivas e adaptáveis por meio de recursos colaborativos avançados. Ademais, registrou-se o domínio “agro4u.life” para estabelecer uma identidade on-line. Esse domínio é utilizado como o endereço principal do sistema, facilitando o acesso dos usuários e fortalecendo a presença no universo digital.

A plataforma Arduino é utilizada como base para o desenvolvimento do hardware do sistema. De tal modo, permite a prototipagem e programação de dispositivos eletrônicos de forma eficiente, possibilitando a implementação de diferentes funcionalidades no sistema. Paralelamente, foram utilizados diversos módulos e componentes eletrônicos compatíveis, como, por exemplo, sensores e atuadores, com a finalidade de agregar funcionalidades específicas no sistema de irrigação. Estes módulos permitem coletar dados, interagir com o ambiente de plantio das alfaces e controlar dispositivos externos.

O desenvolvimento da lógica de negócios e a comunicação com o hardware se deu no ambiente de execução NodeJS. Além disso, utilizou-se a linguagem de programação *JavaScript*, tanto no lado do servidor quanto no lado do cliente, para implementar a interface do usuário e do sistema. Foi empregado o *Realtime Database* do *Firebase*, em conjunto com o módulo *Authentication*, como o sistema de banco de dados. O *Realtime Database* é um serviço de banco de dados em tempo real fornecido pelo *Firebase*, permitindo o armazenamento e sincronização de dados em tempo real entre os clientes e o servidor. Salienta-se ainda a utilização do servidor virtual para hospedagem do sistema *web*, *Virtual Private Server* (VPS), escolhido por proporcionar uma infraestrutura confiável e escalável, garantindo uma boa disponibilidade do sistema para os usuários.

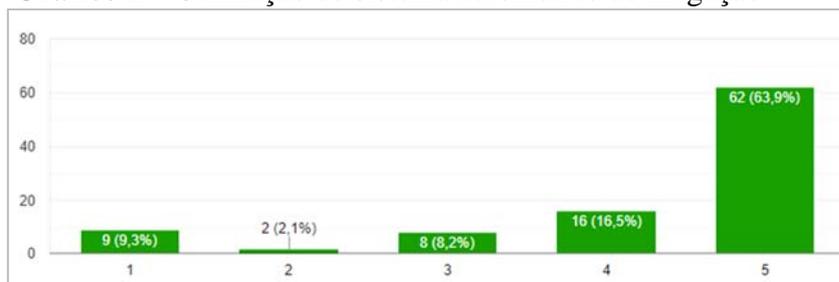
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo, adotou-se o processo de desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado, que se integra a uma aplicação *web*, como base para análise e discussão dos resultados. Esse processo abrangeu desde a modelagem de dados, empregando os princípios da orientação a objetos, até a efetiva implementação do sistema. Durante a análise, foram levados em consideração os requisitos do projeto e sua modelagem com a notação UML, o que incluiu a construção de Diagramas de Classes, Diagrama de Casos de Uso e a definição dos Atores do sistema.

4.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Com o intuito de efetuar a licitação de requisitos pertinentes às problemáticas que o sistema de irrigação automatizado busca mitigar, o questionário aplicado adotou perguntas direcionadas ao público em geral. Quando questionados se em uma escala de 1 a 5, na qual 1 representa menor probabilidade e 5 maior probabilidade de adoção de um sistema de irrigação automático; 63,9% dos entrevistados indicaram a escala de maior importância; na escala 4, foram 16,5% dos entrevistados, ou seja, 80,4% utilizariam o sistema. Já 8,2%, talvez utilizariam (escala de valor 3) e os demais entrevistados 11,4% não o utilizariam (escalas de valor 2 e 1), conforme números apresentados no Gráfico 1.

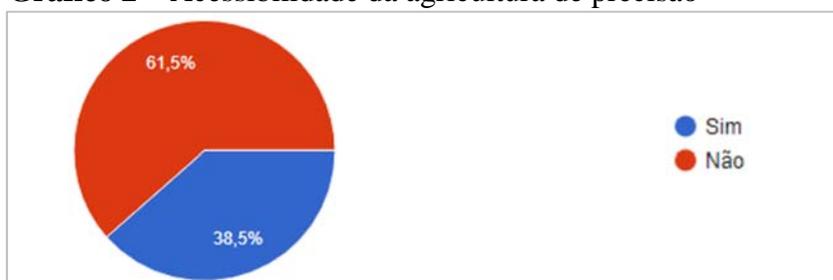
Gráfico 1 – Utilização de sistema automático de irrigação



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme é apresentado no Gráfico 2, 61,5% dos entrevistados responderam que a Agricultura de Precisão não é acessível para todos, embora 38,5% acreditam que sim.

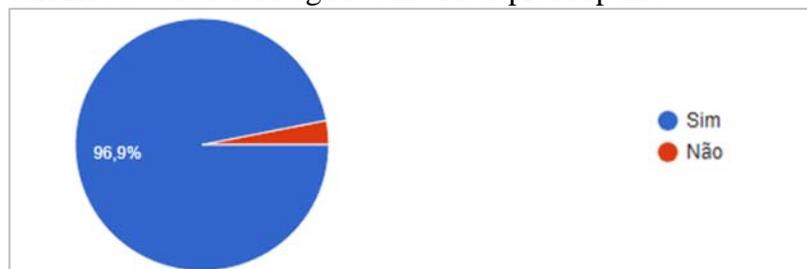
Gráfico 2 – Acessibilidade da agricultura de precisão



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando questionados sobre o gasto excessivo de água com a irrigação, 96,9% dos entrevistados informaram que esse é um fator considerado preocupante, e 3,1% não consideram preocupante, conforme é apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Gasto de água como fator preocupante



Fonte: Elaborado pelos autores.

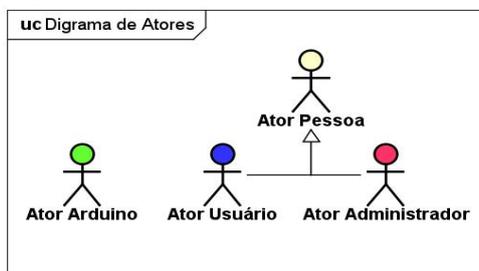
Com base nos dados apresentados na pesquisa, o sistema proposto neste trabalho tem boas possibilidades de aceitação do público-alvo, visto que presa por uma maior acessibilidade de sistemas referentes a Agricultura de Precisão, além da diminuição de gastos com o consumo de água demandado pelos espaços de cultivo.

4.2 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS

Nesta seção, apresenta-se a modelagem proposta para o sistema “**Agro4U**”, com base na elicitação de requisitos deste trabalho, além de sua representação visual. Para a modelagem do sistema, estabeleceram-se os seguintes diagramas da UML: Diagrama de Atores do Sistema, Diagrama de Casos de Uso e Diagrama de Classes.

Na Figura 2 estão representados os atores do sistema, sendo eles: Administrador, Usuário e Sistema Arduino. Conforme Guedes (2011), os atores são entidades individuais, que têm a capacidade de fornecer informações ao sistema em desenvolvimento ou de utilizar os serviços e funcionalidades do mesmo de alguma maneira.

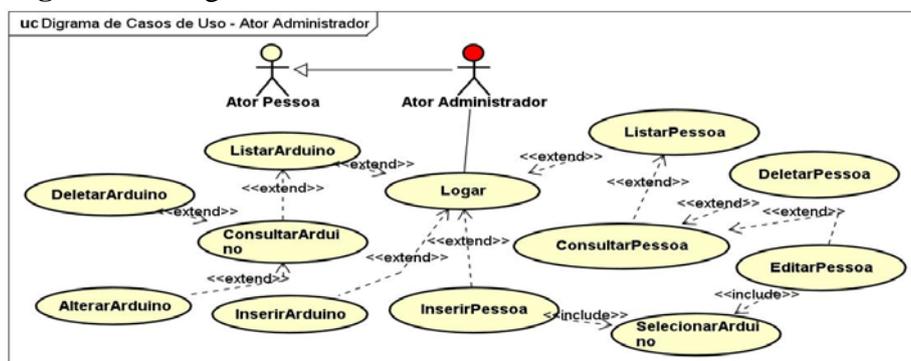
Figura 2 – Diagrama de Atores do Sistema



Fonte: Elaborado pelos autores.

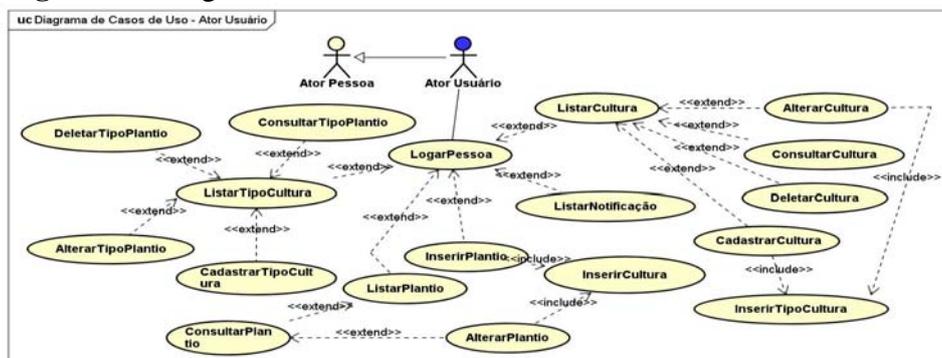
De acordo com Guedes (2011), os casos de uso representam os serviços, tarefas ou funcionalidades que podem ser acessados pelos atores que interagem com o sistema. Guedes (2011), também menciona que o propósito do Diagrama de Casos de Uso é enfatizar as ações que cada categoria de usuário pode executar no sistema. Em consonância e com base nos requisitos levantados neste estudo, foram desenvolvidos respectivamente os diagramas de Casos de Uso na perspectiva do Administrador (Figura 3), na perspectiva do Usuário (Figura 4) e na perspectiva do Sistema Arduino (Figura 5).

Figura 3 – Diagrama de Casos de Uso – Visão Administrador



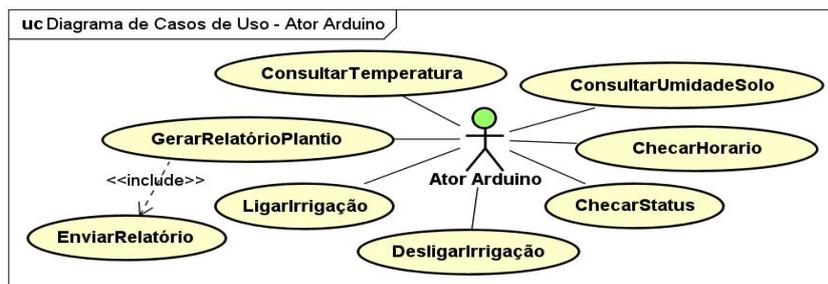
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4 – Diagrama de Casos de Uso – Visão Usuário



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5 – Diagrama de Casos de Uso – Visão Arduino

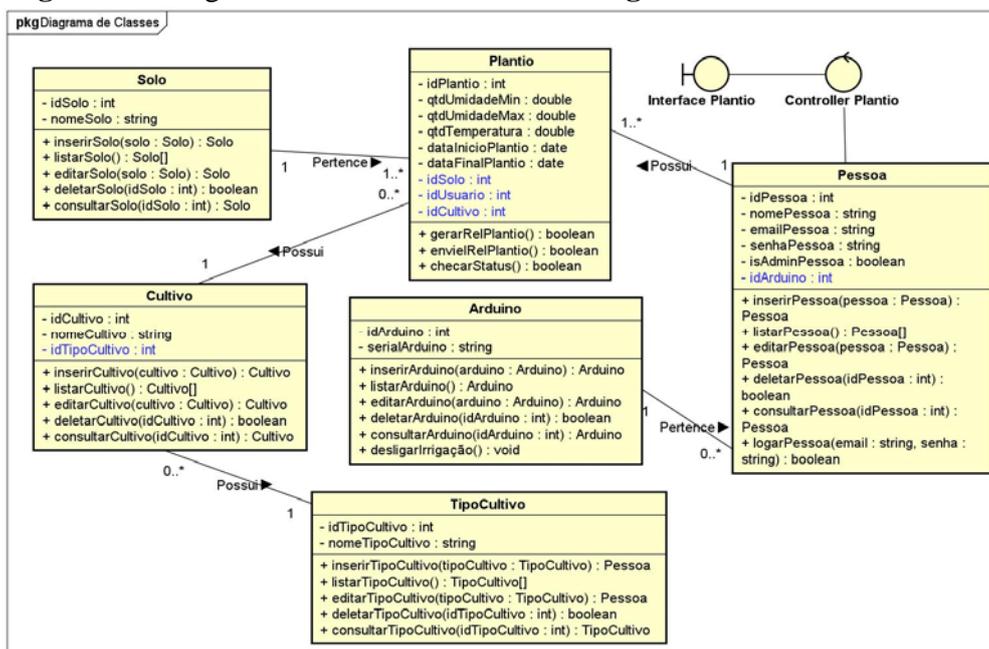


Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale destacar que neste sistema apenas o ator Administrador tem a permissão para inserir usuários; criar uma conta de usuário associada ao e-mail fornecido pelo solicitante e vincular à conta desse usuário a uma identificação única (Id) de um Arduino que não está em uso no momento. Para garantir a segurança desse processo, uma senha aleatória é gerada para permitir que o usuário faça login no sistema. Todos os dados relacionados a essa conta são armazenados no banco de dados em tempo real.

Sob a ótica de Guedes (2011), a finalidade do Diagrama de Classes é retratar as interações que ocorrem entre as entidades abstratas no âmbito do software, com o intuito de tornar visíveis seus relacionamentos, assim como seus atributos e métodos. Na Figura 6, é apresentada a parte principal do Diagrama de Classes do sistema “Agro4U”, desenvolvido neste trabalho.

Figura 6 – Diagrama de Classes do Sistema “Agro4U”



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3 LOGOTIPO, INTERFACES GRÁFICAS DO USUÁRIO (GUI) E ALGORITMO

Nesta seção, são apresentadas as interfaces do sistema "Agro4U", que seguem um conjunto padronizado de cores. A seleção de cores adotada baseia-se principalmente nas tonalidades de verde e branco. Essas cores remetem um conjunto de sentimentos e conceitos essenciais pertencentes ao setor da agricultura. Segundo Beard (2008), a cor verde simboliza

segurança, prosperidade e sustentabilidade, enquanto o branco traz à tona a sensação de modernidade e simplicidade.

O logotipo do sistema de irrigação automático “**Agro4U**”, assim como apresentado na Figura 7, transmite uma sensação de crescimento e sustentabilidade. O leve tom amarronzado sugere a terra fértil e a conexão com a natureza. O preto adiciona um toque de modernidade e profissionalismo à identidade visual. O símbolo em forma de muda nascendo no centro da logo representa o renascimento e o início de um ciclo de crescimento, refletindo a capacidade do sistema de proporcionar uma irrigação precisa e automatizada que promove o desenvolvimento das plantas, destacando assim sua ênfase na agricultura sustentável e na maximização dos recursos naturais.

O nome escolhido para o sistema, “**Agro4U**”, é uma junção da palavra Agro (representa a agricultura) com o número “4”, simbolizando eficiência e alta tecnologia como também uma analogia a expressão em inglês “for” (para). O “U” remete a “you” (você), destacando a pessoa, neste caso, nas necessidades do agricultor. Desse modo, objetiva-se a pronúncia “agro for you”, traduzindo para o português tem-se “agro para você”.

Figura 7 – Logotipo do sistema “**Agro4U**”



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 8 exibe a interface do site do sistema, que possibilita aos visitantes obter informações sobre os serviços oferecidos pelo sistema “**Agro4U**” e entrar em contato para adquiri-lo. O link do site está disponível em: <https://agro4u.life>.

Figura 8 – Interface do Site



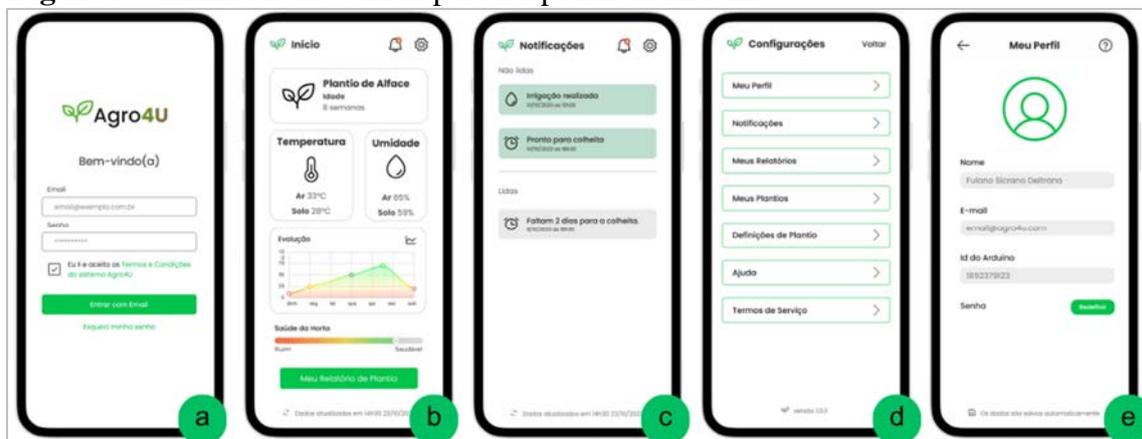
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 9 são apresentadas as principais telas da versão para dispositivos móveis do sistema. Conforme demonstrado, na tela de Login Figura 9 (a), o usuário tem a capacidade de acessar o sistema através do fornecimento de seu e-mail e senha. A tela de Início Figura 9 (b) exibe informações essenciais relacionadas ao plantio, como o tempo de vida da cultura, a temperatura ambiente, a umidade do ar e do solo, juntamente a um gráfico que oferece uma visão geral das condições climáticas, a saúde da plantação e a opção de gerar um relatório abrangente do plantio, que será enviado para o e-mail do usuário.

Na tela de Notificações Figura 9 (c), o usuário receberá alertas referentes ao momento da colheita e à ativação da irrigação. A tela de Configurações Figura 9 (d) disponibiliza opções de personalização, como a definição do horário de recebimento das notificações, a configuração

dos relatórios gerados, acesso ao suporte do sistema, e a possibilidade de editar o perfil do usuário, como mostrado na tela de Meu Perfil Figura 9 (e). Nesta última tela, o usuário tem a opção de adicionar ou alterar seu nome, endereço de e-mail, identificador único do Arduino e senha.

Figura 9 – Interfaces da Versão para Dispositivos Móveis



Fonte: Elaborado pelos autores.

O algoritmo apresentado na Figura 10 destaca o principal trecho de programação da implementada no Arduino, que faz a coleta de dados dos sensores de umidade, faz um calculo da média e os envia para a API, que por sua vez, verifica a necessidade de acionar o relé para irrigação. O código fonte completo pode ser acessado em: <http://bit.ly/479jdp5>.

Figura 10 – Trecho do Algoritmo do Sistema de Irrigação

```
1 void loop() {
2   int valorSensor1 = analogRead(pinoSensorUmidade1);
3   int valorSensor2 = analogRead(pinoSensorUmidade2);
4   int mediaUmidadeSolo = (valorSensor1 + valorSensor2) / 2;
5   // Lê a umidade do ar e a temperatura usando o sensor DHT
6   float umidadeAr = dht.readHumidity();
7   float temperatura = dht.readTemperature();
8   // Verifique se a média de umidade do solo é maior que o limiar
9   if (mediaUmidadeSolo >= 650) {
10    digitalWrite(pinoRele, HIGH);
11    releStatus = true;
12    // Chame a função para enviar os dados
13    enviarDados(mediaUmidadeSolo, umidadeAr, temperatura, releStatus, regaStatus, valorSensor1, valorSensor2);
14    // Loop enquanto a média de umidade do solo for maior ou igual a 650
15    while (mediaUmidadeSolo >= 650 && iterationCount < maxIterations) {
16      // Lê os valores dos sensores de umidade
17      valorSensor1 = analogRead(pinoSensorUmidade1);
18      valorSensor2 = analogRead(pinoSensorUmidade2);
19      // Calcule a média da umidade do solo
20      mediaUmidadeSolo = (valorSensor1 + valorSensor2) / 2;
21      // Aguarde 1 segundo
22      delay(1000);
23      // Incrementar o contador de iterações
24      iterationCount++;
25    }
26    // Desligue o relé se a umidade do solo atingir 430
27    if (mediaUmidadeSolo <= 430) {
28      digitalWrite(pinoRele, LOW);
29      regaStatus = true;
30      releStatus = false;
31    }
32  } else {
33    releStatus = false;
34    regaStatus = false;
35    digitalWrite(pinoRele, LOW);
36  }
37  enviarDados(mediaUmidadeSolo, umidadeAr, temperatura, releStatus, regaStatus, valorSensor1, valorSensor2);
38  delay(30000);
39 }
```

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4 EXPERIMENTO PRÁTICO

Nesta seção, são apresentados os resultados derivados do experimento prático conduzido em terreno aberto, com o cultivo de alface do tipo crespa, conforme foi descrito na seção de

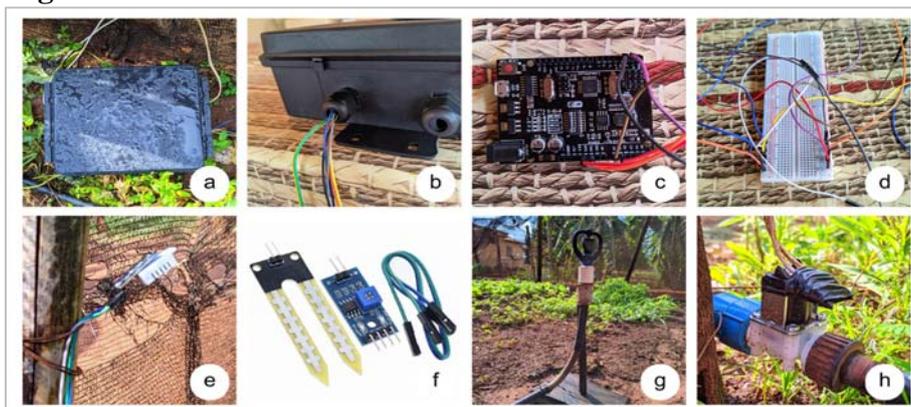
Metodologia deste trabalho. A Figura 11 fornece uma visão da área de plantio, destacando o terreno onde o cultivo da alface ocorreu, bem como a disposição do aspersor utilizado para a irrigação posicionado ao centro da plantação. A Figura 12, por sua vez, demonstra os principais recursos utilizados para o funcionamento do sistema de irrigação, de acordo com os itens do Quadro 1 apresentado na *Seção 3*. A Figura 12 (a) e (b) representam a caixa hermética utilizada para o armazenamento dos componentes. A Figura 12 (c) destaca a placa Arduino, enquanto a protoboard e os jumpers são apresentados na Figura 12 (d). O sensor de umidade e temperatura do ar é identificado na Figura 12 (e), o sensor de umidade do solo na Figura 12 (f), o aspersor na Figura 12 (g) e a válvula solenoide na Figura 12 (h).

Figura 11 – Área de Cultivo da Alface Tipo Crespa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12 – Recursos Utilizados no Sistema Físico



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou, por meio de levantamento de requisitos, pesquisas de campo e bibliográficas, a viabilidade de um sistema de irrigação automático desenvolvido em Arduino projetado em uma plantação de alface em terreno aberto. Durante a pesquisa, diversos aspectos que influenciam o cultivo da alface ao ar livre foram identificados, permitindo o aprimoramento das práticas de produção. Além disso, constatou-se que a escolha do tipo de solo, tipo de aspersor e a quantidade de irrigação adequada desempenham um papel significativo no crescimento e na qualidade das cabeças de alface do tipo crespa.

Os resultados obtidos na execução deste projeto revelaram-se positivos. O sistema de irrigação automatizado funcionou de maneira eficaz, fornecendo níveis adequados de água conforme a necessidade do plantio. O aplicativo móvel também se mostrou intuitivo e funcional, permitindo o monitoramento das condições do solo e do clima, além de oferecer a capacidade de gerar relatórios detalhados sobre o cultivo. Isso demonstra que a integração entre o sistema de irrigação e o aplicativo atenderam às expectativas.

A princípio, o sistema “**Agro4U**” será disponibilizado gratuitamente para todos os participantes do sistema. Para garantir o desenvolvimento contínuo do projeto, a monetização será alcançada por meio de parcerias com instituições interessadas nos benefícios advindos deste sistema. Contudo, à medida que o sistema se tornar mais amplo, visando a obtenção de receita, uma taxa será estabelecida para profissionais e operadores de sistemas de irrigação. Para futuras implementações o projeto também visa a utilização de recursos como integração à outras tecnologias como dispositivos IoT (Internet das Coisas) e análise de dados através de *Business Intelligence* (BI) para melhor utilização das informações obtidas pelo sistema.

Este trabalho abordou a necessidade de automação e eficiência na irrigação de culturas em terrenos de cultivo. No entanto, para uma implementação eficaz do sistema “**Agro4U**”, é fundamental realizar estudos adicionais, investigando aspectos como a integração do sistema com outras tecnologias de gerenciamento agrícola, a aceitação dos agricultores em relação ao uso do software e o impacto na produtividade e economia de recursos.

A implementação do sistema demonstrou ser promissora para melhorar a eficiência da irrigação em terrenos agrícolas, contribuindo para a conservação de água e otimização da produção. Espera-se que este estudo contribua para a sustentabilidade e economia de água em plantações, além do avanço do conhecimento na agricultura de precisão e promover a adoção de soluções tecnológicas para aprimorar a agricultura familiar e cultivo em pequenos espaços.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. L. T., BRITO R. A. L.; Métodos. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do conhecimento**: milho. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/irrigacao/metodos>. Acesso em: 25 ago. 2023.

ARDUINO. **What is arduino?** 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting started with arduino**. 3. ed. Sebastopol: Maker Media, 2014. Disponível em: https://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettingstartedwitharduino_3rdedition.pdf. Acesso em: 25 ago. 2023.

BEAIRD, J. **Princípios do web design maravilhoso**. Rio de Janeiro: Altabooks, 2008.

CAMPOS, M. A. L. **Solo arenoso**: Como Aumentar a Produtividade! 2020. Disponível em: <https://agropos.com.br/solo-arenoso/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

CARAVIERI, F. P. M.; ORTEGA, L. S. M. **Controle de irrigação de orquídeas com sistema wi-fi residencial com arduino**, 2014. Tese (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2014.

CARDOSO, G. G.; KLAR, A. E. Manejo da irrigação por gotejamento via plataforma arduino na cultura da alface. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 45., 2017, Ceará. **Anais eletrônicos** [...]. Ceará: Inovagri, 2017. Disponível em: <https://icolibri.com.br/public/anais/TC5450985.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

DHATRI P. V. S. D. *et al.* A low-cost arduino based automatic irrigation system using soil moisture sensor: design and analysis. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATION (ICSPC), 2., 2019, Coimbatore, India. **Anais**

eletrônicos [...]. Coimbatore: IEEE, 2019. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8976483>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003.

GUEDES, G. T. A. **UML 2**: uma abordagem prática. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

HENZ, G.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Comunicado técnico**, Brasília, DF, n. 75, nov. 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023.

LAMPARELLI, R. Agricultura de precisão. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do conhecimento**: cana. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/avanco-tecnologico/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 16 mar. 2023.

LANA, M. M.; GUEDES I. M. L. **Hortaliças hidropônicas**. 2021. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/hortalicas-hidroponicas>. Acesso em: 25 ago. 2023.

MONTOYA, M.; FINAMORE, E. **Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro**: uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. 2019. Disponível em:
https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/cepeac/textos-discussao/10-2019.pdf. Acesso em: 17 mar. 2023.

MOURA, M. B.; NOBRE, T. L. **Sistema de automação e controle inteligente no processo de irrigação usando IOT no cultivo da alface**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Instituto Federal da Paraíba, Campina Grande, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2769>. Acesso em: 5 abr. 2023.

OLIVEIRA, M. E. *et al.* **Introdução à robótica educacional com Arduino**: hands on! 2020. Disponível em: <https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/483/434/1682/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

RESENDE, F. V. *et al.* **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Circular técnica, 56). Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/232539/1/alface-organico-CT56-2007.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

SOUZA, L. **Verduras vencedoras: vegetais para plantar em solo arenoso**. 2023. Disponível em: <https://meuverdejardim.com.br/os-melhores-vegetais-para-plantar-em-solo-arenoso/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

STONE, F. L. Irrigação por aspersão. *In*: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do conhecimento**: cultivo de feijão. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/metodos-de-irrigacao/irrigacao-por-aspersao>. Acesso em: 5 maio 2023.