

SISTEMA DE MONITORAMENTO AVANÇADO PARA CULTIVO DE HORTALIÇAS

Davi Pazini Pezente¹

Gustavo dos Santos de Lucca²

Resumo: Com a necessidade cada vez maior de otimizar recursos e buscar sustentabilidade, o agricultor vem ao longo dos últimos anos buscando o investimento em tecnologia, obtendo uma visão mais atenta as diferenças, que na maioria das vezes são ignoradas ou imperceptíveis na agricultura tradicional. Desta maneira obtém-se no mínimo a utilização dos recursos de forma mais eficiente e sustentável. As plantações de hortaliças se diferenciam no processo de cultivo, devido à grande variabilidade de espécies em pequenos espaços e, atualmente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) vem incentivando o seu consumo, devido aos seus grandes benefícios para a saúde. Com base na crescente expansão da tecnologia na agricultura, esta pesquisa tem por objetivo avaliar um protótipo para monitoramento avançado no cultivo de hortaliças, procurando melhorar a produtividade e a sustentabilidade, aliado com a redução dos custos de produção.

Palavras-chave: Agricultura. Monitoramento. Sustentabilidade. Tecnologia.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos a computação vem crescendo exponencialmente, e atualmente é quase impossível encontrar uma área em que não esteja presente, seja no âmbito pessoal ou profissional. Qualquer tipo de negócio deve investir em tecnologia e aquele que não o fizer está fadado a não evoluir, ficar parado no tempo.

Em negócios voltados à agricultura não é diferente, para evoluir e melhorar a produtividade muitos produtores estão investindo em tecnologia. Sabe-se que alimentar uma crescente população, com aumento de renda e urbanização acelerada é um grande desafio. Da mesma forma, a inovação da agropecuária é um ponto crítico, pois essa deve associar a sustentabilidade ambiental com a melhoria da alimentação e nutrição da população. Além disso, a agricultura também trabalha para suprir a demanda por matéria-prima, através da indústria de produção do bem-estar humano[1] .

¹ Graduando em Engenharia da Computação. E-mail: davi.pezente@gmail.com

² Prof. Engenharia da Computação. E-mail: gustavo.lucca@satc.edu.br

Quando se fala em cultivo de hortaliças, há uma diferenciação em relação as grandes produções comerciais, principalmente no que se refere a variabilidade de espécies cultivadas em pequenos espaços de produção e também à alta sensibilidade destas em relação ao déficit hídrico e nutricional [2].

Desta forma, utilizando como base o crescente avanço da computação na agricultura, esta pesquisa tem como objetivo avaliar um sistema de monitoramento avançado com controle de irrigação no cultivo de hortaliças, como forma de aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção. Com isso se faz necessário o entendimento dos métodos de irrigação utilizados em cultivo de hortaliças na atualidade, bem como as características climáticas e geográficas da região. O entendimento sobre os sistemas agrícolas auxilia nos processos de controle de produção, através da obtenção de variáveis do ambiente, possibilitando um controle preciso na irrigação dos cultivos.

2 REFERENCIAL

A globalização da economia tem causado alterações na produção de hortaliças no Brasil, possibilitando avanços tecnológicos e estruturais. Nos últimos anos a produção vem crescendo cada vez mais, concentrando-se em sua maioria na região sul e sudeste. Existem organizações que vem incentivando em todo o mundo o consumo de hortaliças e frutas devido ao fato de apresentarem uma densidade energética baixa e serem ricos em micronutrientes, fibras e outros elementos fundamentais ao organismo [3].

O ponto chave para o cultivo de hortaliças está na irrigação, onde sua função principal é proporcionar umidade adequada para o desenvolvimento das plantas, mantendo a vegetação hidratada e auxiliando nos processos de transporte de nutrientes na relação solo/planta. Dessa forma, através de uma irrigação correta, pode-se aumentar a produtividade e também superar os efeitos de períodos de seca, proporcionando uma lucratividade e competitividade ainda maior para o produtor. Essa tarefa nem sempre é fácil e a utilização de um sistema de irrigação com acionamento remoto para cultivo, reduz o consumo de insumos, custo de produção e custo com mão-de-obra. Além disso, contribui para uma produção mais sustentável, reduzindo o desperdício de água [4].

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS HORTALIÇAS

As hortaliças são plantas alimentares caracterizadas por seu alto teor de vitaminas e sais minerais. Existem mais de 80 espécies que são cultivadas e vendidas no Brasil. A tabela 1 lista os grupos das hortaliças e suas plantas correspondentes [2].

Tabela 1: Classificação das Hortaliças.

Grupo Hortaliças	Plantas
Hortaliças folhosas	acelga, agrião, alface, almeirão, alho-porró, cebolinha, coentro, couve, couve-chinesa, chicória, espinafre, repolho, rúcula e salsa.
Hortaliças-flores	alcachofra, brócolis e couve-flor.
Hortaliças-frutos	abóbora, abobrinha, berinjela, chuchu, jiló, maxixe, melancia, melão, moranga, morango, pimenta, pimentão, pepino, quiabo e tomate.
Hortaliças-legumes	ervilha, fava e feijão vagem.
Hortaliças-raízes	batata-baroa (ou mandioquinha ou cenoura-salsa), batata doce, beterraba, cará, cenoura, nabo e rabanete.
Hortaliças-tubérculo	Batata.
Hortaliças-bulbo	alho e cebola.
Hortaliças-haste	aspargo e salsão.

Fonte: Adaptado de [2]

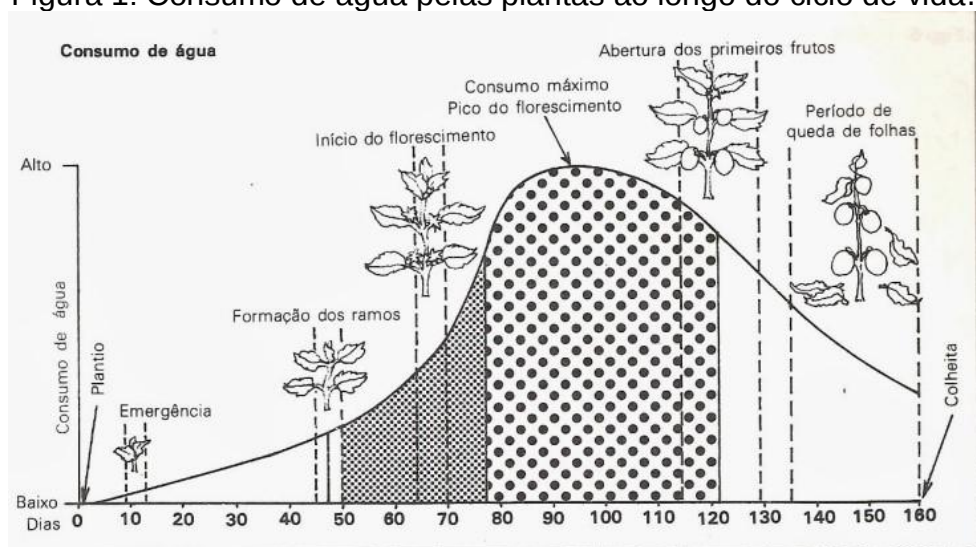
Para que possa realizar o cultivo das hortaliças, cada tipo de planta requer um cuidado diferente, e, dessa forma, é importante conhecer as características de cada cultura.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA PLANTAÇÃO

As hortaliças requerem irrigações quase que diárias. Essas dependem das condições climáticas, tipo de solo, espécie e fase do ciclo da planta. Recomenda-se irrigações todos os dias para hortaliças nas fases iniciais e para hortaliças folhosas; para as hortaliças de frutos e de raízes, as irrigações podem ser a cada 2 a 3 dias. Recomenda-se de 4 a 10 litros de água por metro quadrado de canteiro e de 3 a 5

litros por cova, que deve ser aplicado lentamente para não causar o escoamento superficial. Recomenda-se também, fazer irrigações mais frequentes e com menor volume nas fases iniciais do ciclo, e com menor frequência e maior volume do meio para o final do ciclo. É indispensável dizer que em dias mais quentes e ensolarados deve-se fazer irrigações mais frequentes [5]. Observa-se através da Fig. 1 que o consumo de água da planta aumenta até um certo ponto e posteriormente diminui. Esse ponto de consumo máximo coincide com o meio do ciclo da plantação [6].

Figura 1: Consumo de água pelas plantas ao longo do ciclo de vida.



Fonte: Adaptado de [6]

Para realizar a escolha do sistema de irrigação correto, deve-se levar em consideração uma avaliação detalhada de fatores físicos, agrônômicos, sociais e econômicos envolvidos, dentre outros. Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, todos apresentam suas características próprias, vantagens e desvantagens. De acordo com o método em que a água é aplicada às plantas, pode-se classificar os sistemas como: irrigação superficial, irrigação subsuperficial, por aspersão e ainda a localizada [7].

O método de irrigação superficial compreende os sistemas nos quais a distribuição da água é feita diretamente sobre a superfície do solo que será irrigado. Esse tipo de sistema costuma ser geralmente os que requerem menor investimento inicial. Costumam-se adaptar a maioria dos solos, exceto os que possuem alta taxa

de infiltração, como o arenoso, por exemplo. Por ser um sistema em que a água flui sobre a superfície do solo, requer que o terreno seja plano ou sistematizado [7].

No método de irrigação subsuperficial, a água é aplicada através da criação e controle de um lençol freático. Caracteriza-se pelo baixo investimento inicial, além de baixa mão de obra. Esse sistema necessita solos planos ou sistematizados, com uma camada de solo impermeável 1.5 metros de profundidade sobreposto por uma camada de solo permeável. No Brasil, é utilizada de forma incipiente na irrigação de hortaliças [7].

A irrigação por aspersão (Fig. 2) utiliza de dispositivos chamados aspersores, que distribuem a água nas plantas em forma de uma chuva artificial. Esse aspecto só é conseguido pois a água passa sob pressão por dutos até chegar aos aspersores [8]. Com o passar do tempo a utilização desse sistema na agricultura acabou exigindo o desenvolvimento de diferentes sistemas de irrigação por aspersão. Pode-se resumir esse tipo de sistema em dois tipos básicos: os que operam a partir de uma tubulação com aspersores instalados ao longo do seu comprimento, chamado de linha lateral, e os que operam a partir de somente um aspersor que trabalhe a alta pressão e vazão, chamado de aspersor canhão [9].

Figura 2: Exemplos de sistemas por aspersão por linhas laterais: fixas (esquerda), móveis manualmente (centro) e mecanizadas por pivô central (direita).



Fonte: Baseado de [9]

A irrigação localizada funciona com o princípio básico da distribuição "localizada" da água. Diferente de outros métodos de irrigação, nesse a água é aplicada próxima a raiz da planta. A aplicação é feita em pequenos volumes de água, porém com grande frequência. Esse método vem sendo adotado em grande escala, principalmente pelo fato de se atingir uma maior eficiência no uso da água. Ou seja, está aumentando a produtividade e a qualidade do produto, utilizando-se menos água devido a diminuição das perdas. Pode-se dividir a irrigação localizada em dois

sistemas: irrigação por gotejamento e irrigação por microaspersão (Fig. 3). No gotejamento a água é aplicada por uma fonte denominada gotejador [9].

Figura 3: Exemplo de gotejador (esquerda) e microaspersor (direita).



Fonte: Baseado de [9]

Para que se possa realizar uma irrigação de qualidade, sem que seja prejudicial para as hortaliças, é necessário um estudo sobre diversos fatores, dentre eles, o clima da região onde será realizada a plantação.

2.3 FATORES CLIMÁTICOS

De maneira geral, as hortaliças podem encontrar suas melhores condições para um desenvolvimento saudável em climas mais amenos, com chuvas leves e com baixa frequência. Em ambientes de temperaturas baixas seu crescimento, frutificação e maturação são retardados, já em temperaturas mais altas, favorecem nos períodos de florescimento e maturação. Períodos de chuvas fortes ou em excesso, e também irrigação demasiada, podem provocar o encharcamento do solo, acarretar a perda de nutrientes do solo por erosão, e causam estragos nas plantas, principalmente nas folhosas. Além disso, a excessiva umidade do ar acaba favorecendo o desenvolvimento de uma grande parte das doenças de hortaliças [2].

Diante desses fatos, pode-se dizer que as condições ambientais climáticas interferem drasticamente na produção das hortaliças [10]. Algumas das principais influências são a temperatura, luz e umidade.

A temperatura é um dos maiores fatores climáticos que exerce influência sobre as hortaliças. As culturas geralmente apresentam uma ampla adaptação climática. As espécies de ciclo curto, por exemplo, encontram em alguns meses sua condição ideal de temperatura, mesmo quando cultivadas em regiões de clima distinto

aos de sua origem [10]. Cada hortaliça tem suas características climáticas, porém, de um modo geral, pode-se dizer que as folhosas se desenvolvem melhor entre 15 e 23 °C enquanto as hortaliças-frutos entre 18 e 25 °C. Vários centros de pesquisas desenvolveram os cultivares "de verão", onde hortaliças de clima frio podem ser cultivadas em regiões ou épocas mais quentes [2].

A luz solar é um fator relevante para o desenvolvimento dos vegetais, pois através dela tem-se o processo de fotossíntese, sem o qual seria impossível existir vida humana, animal e vegetal no planeta terra. Quando há aumento na intensidade luminosa solar recebida pelas hortaliças, isso corresponde à elevação da atividade fotossintética da planta, resultando em uma maior produção de matéria seca, ou seja, maior produção do material que sobra após a perda de toda a água da planta. A falta de luminosidade provoca o alongamento celular, resultando no estiolamento, ou seja, aumento da parte aérea sem correspondente aumento na matéria seca. A duração de um período luminoso, dentro de um dia de 24 horas, também exerce influência nos processos fisiológicos das plantas. É o caso do crescimento vegetativo, da floração e também da frutificação. O número diário de horas de luminosidade varia conforme a latitude e estação do ano [10].

As hortaliças são constituídas por cerca de 90% de água, sendo que a umidade do solo condiciona a absorção de água e dos nutrientes minerais e a umidade do ar tem influência direta na transpiração (perda de água pelas folhas) e outros processos que afetam as culturas. Sendo assim, a umidade do solo é o que mais facilmente pode ser controlado pelos produtores, sendo realizado por meio da irrigação. Ao contrário, a umidade do ar é o mais difícil de ser controlado, a não ser pelos critérios de época do plantio, sendo que o ar é mais úmido na primavera-verão. Nota-se que quanto maior a umidade do ar, maior a chance de ataques de fungos e bactérias [10].

As particularidades de cada cultura devem ser consideradas, porém, a temperatura é o fator determinante mais ponderável na hora de realizar o plantio das hortaliças [10].

Diante das diversas variáveis necessárias que o produtor deve analisar para o plantio e cultivo de hortaliças, justifica-se o uso de um sistema automatizado com maior precisão e análise dos dados para controle do cultivo.

2.4 SISTEMAS E APLICAÇÕES MÓVEIS

Segundo estudo da fundação Getúlio Vargas, atualmente o Brasil possui mais de um smartphone em funcionamento para cada habitante. Os brasileiros passaram mais de três horas por dia utilizando o celular no ano de 2018, colocando o país como o 5º colocado no ranking global [24]. Os dispositivos móveis vêm mudando a maneira de como o mundo se conecta à internet. Nos últimos anos tornaram-se parte da vida cotidiana da maioria das pessoas. Seu grande poder computacional e suas capacidades revelaram um novo universo de oportunidades [25]. Os sistemas operacionais móveis são responsáveis por gerenciar os recursos do sistema, além de oferecer uma interface entre usuário e equipamento.

O Android é um sistema operacional de código aberto para dispositivos móveis e um projeto de código aberto correspondente liderado pelo Google. Foi construído com intenção de permitir aos desenvolvedores criar aplicações móveis, com total proveito que um dispositivo móvel pudesse oferecer. Devido sua característica principal em ser de código aberto, pode ser sempre adaptado a fim de incorporar novas tecnologias, conforme essas forem surgindo. Cada fabricante de smartphones pode obter uma versão do Android e modificá-la a fim de customizar seu aparelho [26].

O iOS é um sistema de código fechado para dispositivos móveis desenvolvido pela Apple. Lançado em 2007, representou uma mudança no paradigma do desenvolvimento móvel, trazendo um sistema inovador com ótimo desempenho. Por possuir código fechado, a instalação de aplicativos só pode ser feita através da loja oficial da Apple. Consequentemente, quando lançadas melhorias ou nova versão do iOS, todos os dispositivos são contemplados, exceto os que o hardware é incapaz de rodar a versão, diferente do Android, que por conta de sua fragmentação, nem todos os fabricantes disponibilizam de imediato as atualizações [27].

Um aplicativo móvel pode ser considerado como um tipo de software desenvolvido para ser executados em dispositivos móveis. No início, os aplicativos móveis eram limitados e com baixo processamento, porém, atualmente o desenvolvimento deste tipo de software está cada vez mais próximo ao desenvolvimento de aplicações desktop, no quesito complexidade [28].

As aplicações móveis podem ser classificadas com base em três tipos principais: aplicações nativas, aplicações baseadas na web e aplicações híbridas. Cada tipo possui suas características principais, conforme tabela 2.

Tabela 2: Classificação das Aplicações Móveis.

Tipo	Características
Nativo	Instalado localmente; Construído para dispositivos específicos; Alimentado por APIs.
Baseado na Web	Executa diretamente no navegador do dispositivo; Construído com técnicas de programação web; Hospedado por um servidor web; Executa em qualquer dispositivo com navegador web.
Híbrido	Instalado localmente; Construído com técnicas de programação web; Roda no navegador web incorporado do dispositivo; Responsivo; Se parece com nativo; Alimentado por APIs.

Fonte: Adaptado de [28]

Aplicativos nativos são projetados e codificados para um tipo específico de sistema. Por exemplo, os aplicativos para iOS utilizam Swift e os para Android utilizam o Kotlin. Normalmente este tipo de aplicativo é encontrado em uma loja de aplicativo, como a Google Play Store e é necessária a aprovação da loja. Um aplicativo nativo de determinado sistema não poderá ser usado em outro sem que haja uma recodificação do projeto. Por outro lado, tendem a ser mais rápidos e responsivos, além de oferecerem melhores recursos de interface do usuário e serem desenvolvidos para aproveitarem todos os recursos integrados do dispositivo [28].

Aplicativos web para dispositivos móveis são desenvolvidos utilizando as tecnologias para criar sites, como por exemplo: HTML, CSS e JavaScript. Esse tipo de aplicativo, não exige nenhuma instalação de novo software no sistema, basta apenas acessar a URL em um navegador da web. Na maioria dos casos pode-se considerar como um site que imita um app nativo. O benefício está em a mesma aplicação rodar para vários dispositivos, bastando uma conexão com web. No entanto, o acesso a recursos do dispositivo em que a aplicação esteja rodando é complicado, pois são independentes de plataforma [28].

Aplicativos híbridos são parcialmente nativos e parcialmente web. Podem aproveitar todos os recursos e funcionalidades integradas do dispositivo além de serem desenvolvidos utilizando tecnologias para criar sites. Permitem desenvolvimento multiplataforma, utilizando a mesma programação para diversos sistemas, reduzindo custo de produção. A maioria dos usuários não conseguem distinguir aplicativos nativos de híbridos [28].

Com a grande demanda de aplicativos que surgiram, o desenvolvimento híbrido se tornou vantajoso devido ao seu menor custo e tempo de produção. Para auxiliar os desenvolvedores diversos frameworks foram lançados, oferecendo uma suíte de componentes prontos os quais agilizam o desenvolvimento do aplicativo, como por exemplo o Ionic e o Xamarin.

O Ionic é o framework para desenvolvimento híbrido mais popular do mundo, podendo ser compilado para iOS, Android, desktop e web. É um kit de ferramentas de interface do usuário de código aberto, de alto desempenho e alta qualidade, utilizando de tecnologias web (HTML, CSS, Javascript). Para que o Ionic possa obter o acesso aos componentes nativos de cada dispositivo, como por exemplo câmera e GPS, o mesmo utiliza da ferramenta Cordova, desenvolvida pela Apache Software Foundation [29].

O Xamarin é um kit de ferramentas de interface ao usuário, multiplataforma, que permite o desenvolvimento com eficiência de layouts nativos que possam ser compartilhados entre iOS, Android e aplicativos da plataforma universal do Windows. É exclusivo ao oferecer uma única linguagem de programação (C#) e biblioteca de classes para compilação de aplicativos nativos que têm um desempenho bastante alto. Quando os aplicativos Xamarin são compilados, os pacotes resultantes ficam idênticos aos pacotes de aplicativos compilados em ambientes nativos e são implantados da mesma maneira. Seu projeto é desenvolvido pela Microsoft [30].

2.5 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE CONTROLE

Um sistema de controle, pode ser definido como um arranjo de componentes físicos conectados de maneira que comandem, direcionem ou regulem a si mesmos ou outros sistemas [11].

Um microcontrolador é um "pequeno" componente eletrônico, dotado de uma inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos. Pode-se citar como controle de processos o controle de periféricos como LEDs, displays, sensores diversos (temperatura, luminosidade, umidade, etc.) dentre outros. São chamados de controles lógicos, porque a operação é baseada nas ações lógicas que serão executadas, dependendo do estado dos periféricos conectados [12].

Um microcontrolador pode ser considerado programável, pois toda sua lógica está estruturada em forma de programa e gravada diretamente na placa. Após isso, sempre que receber uma alimentação, irá executar o programa gravado [12].

Pode ser considerado pequeno, pois em um único chip (Fig. 4) tem-se todos os componentes necessários para o controle de um processo. Ou seja, possui memória de programa, memória de dados, processador, etc. Atualmente quase todos os equipamentos de uso diário, como por exemplo, geladeiras, microondas, máquinas de lavar utilizam microcontroladores [12].

Figura 4: Exemplo de microcontrolador.



Fonte: Adaptado de [13]

No mercado existem diversos tipos de microcontroladores. Para facilitar a programação e ligação de circuitos, pegando os detalhes confusos da programação para microcontroladores e transformando-os em algo simples e claro, foram criadas diversas placas, como o Arduino, o Parallax Basic Stamp, o BX-24 da Netmedia, o Phidgets, e o Handyboard do MIT. Atualmente uma das placas mais populares é o Arduino [14].

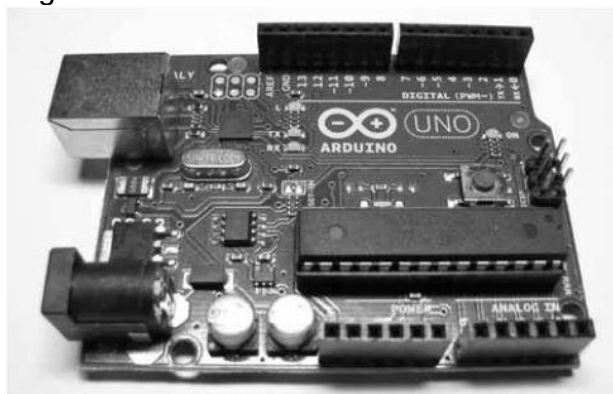
O Arduino consiste em uma plataforma de prototipagem eletrônica, elaborada em 2005 na Itália. Tem como objetivo facilitar o desenvolvimento de

projetos simples e complexos. Através da placa é possível conectar sensores, motores, LEDs, dentre outros. O projeto Arduino visa unir hardware e software proporcionando uma plataforma de fácil desenvolvimento utilizando microcontrolador [15].

Por ser *open-source* (em tradução livre, código aberto), todo material disponibilizado pelo fabricante tem sua utilização e reprodução permitida sem restrições sobre direitos autorais. Além disso, várias pessoas de todo o mundo contribuem com a plataforma, tanto com a construção de um novo hardware, quanto com novas bibliotecas [15].

Há muitas versões do Arduino disponíveis. Pode-se citar as versões Uno R3 (Fig. 5), Mega, Mini, Nano, Bluetooth, entre outras. A programação para a placa, pode ser feita através da IDE (*Integrated Development Environment*, em tradução livre, Ambiente de Desenvolvimento Integrado) Arduino, disponível para computadores. Este ambiente de desenvolvimento é baseado no Wiring e na linguagem de programação C. Através da IDE pode se escrever o programa, salvar e compilar. Com um cabo USB ligado no computador e na placa, pode-se realizar a gravação do código compilado. Após o programa ser gravado na placa não é mais necessário o computador. Desde que se tenha uma alimentação externa, o Arduino vira uma placa independente [15].

Figura 5: Arduino Uno R3.



Fonte: Baseado de [16]

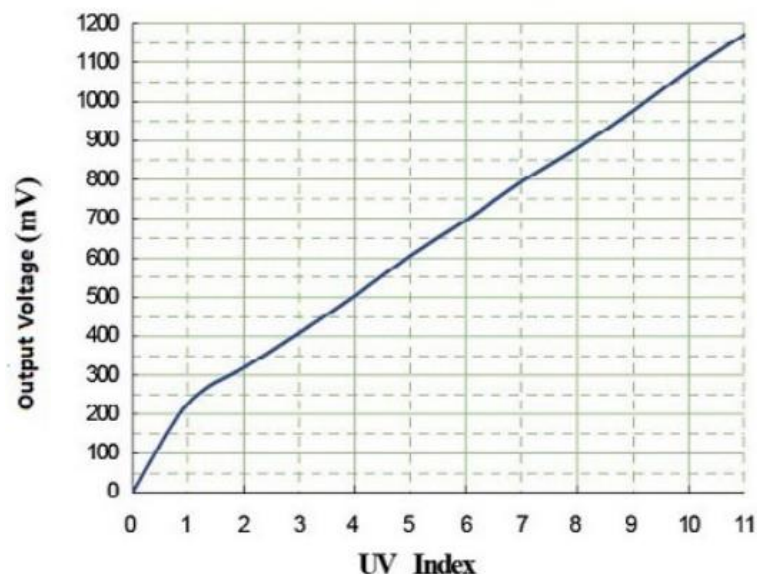
Por ser uma placa pequena, de baixo custo e com um bom processamento, aliado a uma experiência de usuário simples e acessível, o Arduino tem sido utilizado em milhares de diferentes projetos e aplicações [14].

Já que o microcontrolador é um componente eletrônico muito simples, ele é capaz de processar apenas sinais elétricos. Para que capte a luz, radiação solar, temperatura, umidade ou qualquer outro tipo de dado físico, é necessário utilizar-se de algo que faça a conversão em eletricidade. Chamados de sensores, esses pequenos dispositivos são encarregados de medir determinado dado físico e transmitir esse sinal de maneira que possa ser compreendido pelo microcontrolador. Assim que os sensores são lidos, uma placa Arduino, por exemplo, terá as informações necessárias para decidir como reagir [23].

Um sensor ultravioleta é utilizado para medir a intensidade de radiação ultravioleta incidente. O UVM-30A é um sensor que emite um sinal elétrico através de uma saída analógica que irá variar conforme a intensidade dos raios ultravioletas. Possui uma ampla faixa espectral, variando de 200nm ~ 370nm. Pode funcionar em ambientes com temperatura entre -20°C ~ 85°C. Sua acurácia é de aproximadamente 1 índice ultravioleta [17].

Através da tabela de conversão exposta na figura 7, pode-se facilmente obter o índice ultravioleta através dos valores lidos pelo sensor.

Figura 7: Tabela de conversão sensor ultravioleta.



Fonte: Adaptado de [17]

O índice ultravioleta (UV) é a medida da intensidade de radiação ultravioleta incidente sobre a terra [21]. É uma recomendação conjunta da Organização Mundial da Saúde (OMS), da Organização Meteorológica Mundial (OMM), do Programa das

Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Comissão Internacional de Radiação Não-ionizante (ICNIRP) para aumentar a conscientização da população sobre os efeitos nocivos da radiação UV na saúde e alertar sobre medidas de proteção [22].

O sensor de temperatura é utilizado para medir a temperatura de determinado ambiente, possuindo modelos para ambientes externos, internos ou com insalubridade. O DS18B20 é um sensor de temperatura ambiente do ar com grande eficiência e baixo custo, podendo funcionar com altas temperaturas, sendo sua faixa de operação em $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$. Possui uma acurácia de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$. Por utilizar saídas digitais, pode ser utilizado em longas distâncias sem degradação do sinal. Fornece leituras de temperatura de 9 a 12 bits (configuráveis) em uma interface de 1 fio. Cada sensor possui um número de série exclusivo, possibilitando a ligação de vários sensores em uma mesma interface de 1 fio [18].

Analisar dados de umidade e temperatura da terra visa proteger as plantas em dias muito quentes e controlar o desperdício de água. Medidas podem ser tomadas para que as plantas não recebam pouca ou muita água, dependendo da condição climática. O SHT20 modelo KLDZ88 é um sensor de alta qualidade em medições de umidade e temperatura do solo. Possui encapsulamento à prova d'água, com material respirável, o que permite que não haja qualquer tipo de interferência nos valores obtidos pelo sensor. Possui uma acurácia de aproximadamente 3% para leituras de umidade e $0,3^{\circ}\text{C}$ para leituras de temperatura [19].

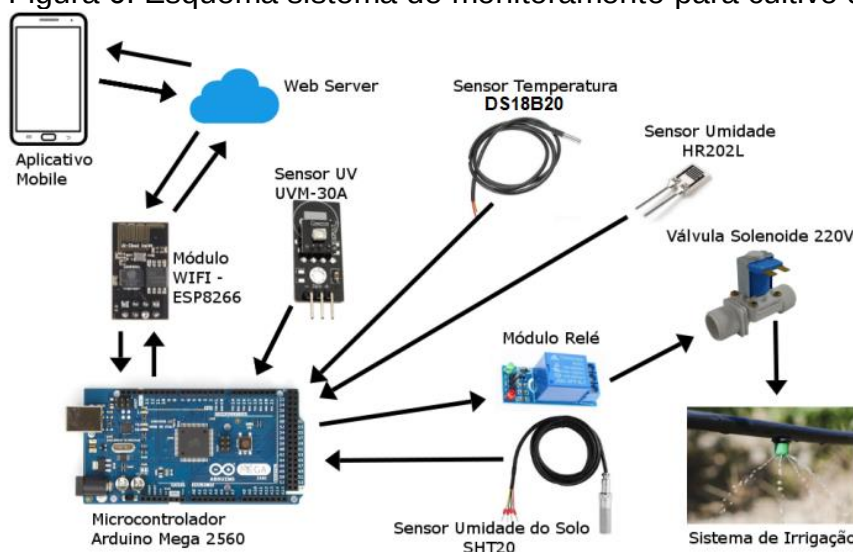
Através do sensor de umidade do ambiente é possível validar junto com outros sensores a real necessidade de se ligar a irrigação na plantação, acarretando uma economia de água. O DHT11 é um sensor de baixo custo aliado a entrega de dados confiáveis para medições eficientes de umidade. Possui uma acurácia de aproximadamente 4%, permitindo que umidades entre 20% a 90% possam serem lidas. O DHT11 conta com o componente HR202 que é o responsável pela leitura da umidade [20].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente buscou-se realizar um levantamento bibliográfico a respeito do cultivo de hortaliças, tendo como objetivo a melhor compreensão sobre as técnicas de

cultivo, suas limitações, necessidades e características. A partir disso foram realizadas pesquisas sobre sistemas e tecnologias já existentes para a área. Com auxílio desses dados e de todo referencial bibliográfico pesquisado, desenvolveu-se este projeto. Para atingir os objetivos propostos, o mesmo foi montado e levado a campo conforme desenho esquemático exposto na figura 6.

Figura 6: Esquema sistema de monitoramento para cultivo de hortaliças.



Fonte: Do autor (2018)

O banco de dados escolhido para realização da pesquisa foi o MySQL, onde ficou hospedado no ambiente Hostinger®, um serviço online utilizado para hospedagem de aplicações e banco de dados. Para a comunicação entre aplicação móvel e banco de dados hospedado na web, foi utilizado a linguagem PHP, uma vez que a mesma oferece qualidade, robustez e compatibilidade com o MySQL. Para os processos executados em segundo plano pelo web server, como o processo de envio de notificação, também foi utilizado a linguagem PHP.

A aplicação móvel foi desenvolvida utilizando a plataforma Ionic Framework em sua versão 4.12.0, que proporciona o desenvolvimento de aplicativos híbridos, podendo ser compilado para multiplataformas. Aproveitando o poder da Web, a abordagem exclusiva do Ionic simplifica drasticamente como o desenvolvimento de aplicativos é feito.

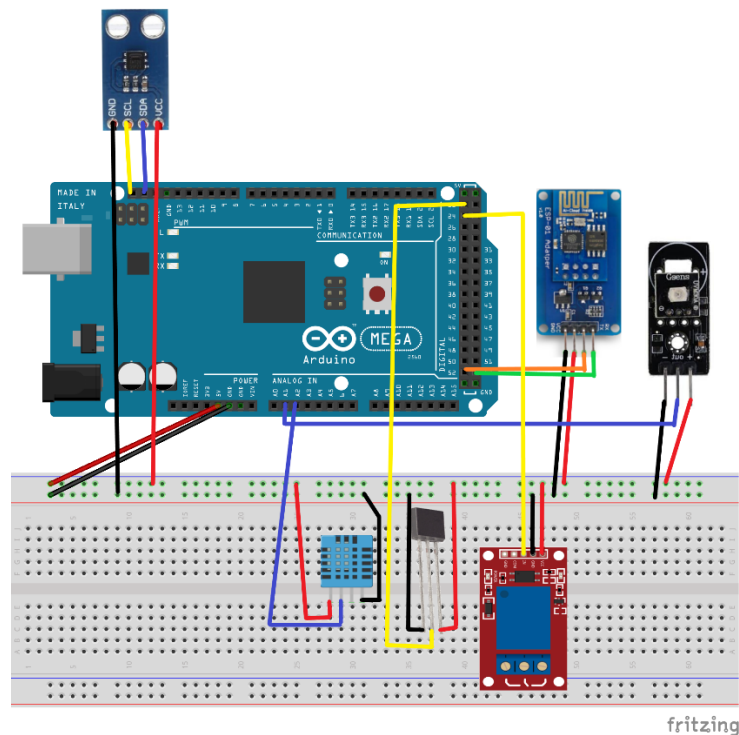
Para obtenção dos dados climáticos da aplicação móvel, foi utilizado a API (*Application Programming Interface*, em tradução livre, Interface de Programação de Aplicativos) climatempo, em seu plano gratuito, que disponibiliza a previsão do tempo

e outros dados meteorológicos em tempo real, além de oferecer facilidade de uso, suporte técnico e garantia de estabilidade do serviço.

Para obtenção dos valores das variáveis de monitoramento foi utilizada a plataforma Arduino em seu modelo MEGA 2560 R3, pois conforme seção 2.4 do referencial, o projeto Arduino visa unir hardware e software proporcionando uma plataforma de fácil desenvolvimento utilizando microcontrolador, além de ser uma ferramenta de código aberto e popular para desenvolvimento de produtos IoT (*Internet of Things*, em tradução livre, Internet das Coisas).

Na placa Arduino ficaram ligados os sensores, conforme desenho esquemático da figura 7, que são eles: de raios ultravioleta UVM-30A na porta analógica A1, de temperatura DS18B20 na porta digital D22, de umidade e temperatura do solo SHT20 nas portas SCL e SDA, de umidade ambiente DHT11 na porta analógica A2. Para o acionamento da irrigação, foi utilizado um módulo relé, na porta digital D24, que ficou ligado a uma válvula solenoide.

Figura 7: Esquemático de ligação dos sensores.



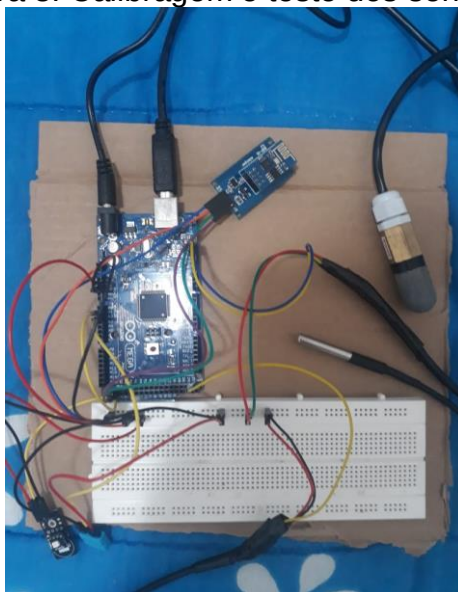
Fonte: Do autor (2019)

O envio dos valores lidos pelos sensores e o recebimento do sinal de acionamento da válvula solenoide foi realizado pelo Arduino, através do módulo Wi-Fi ESP8266-01, que fez conexão direta com o banco de dados no servidor web.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

No primeiro momento foram realizados testes com os sensores, conforme figura 8, a fim de calibrar e validar os dados recebidos. Após isso, foram validadas as conexões entre Arduino e banco de dados. Nesse ponto foi encontrado um problema; quando por algum pico de internet a conexão caía, a mesma não era reestabelecida, ocasionando a falha do sistema.

Figura 8: Calibragem e teste dos sensores.



Fonte: Do autor (2019)

Para correção foi necessário atualizar o firmware do módulo Wi-Fi e ajustar o código fonte. Após corrigido e com os sensores calibrados, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo do sistema de controle. O protótipo do sistema de controle foi montado dentro de um ambiente protegido, evitando danos nos componentes eletrônicos que são mais sensíveis a ações climáticas. Conforme a figura 9, é possível verificar a versão final.

Figura 9: Versão final do sistema de controle.



Fonte: Do autor (2019)

O protótipo do aplicativo foi desenvolvido para atuar juntamente com o sistema de controle, sendo que nenhum deles deverá ser utilizado separadamente. Ao abrir o aplicativo o usuário é direcionado para a tela *home*, onde é exibido um panorama geral do ambiente de cultivo com o último valor lido por cada sensor do sistema de controle, como na figura 10.

Figura 10: Tela *home* do aplicativo móvel.



Fonte: Do autor (2019)

Para o processo de tomada de ação por parte do usuário existe a tela *equipamentos*, conforme figura 11, sendo possível ativar ou desativar o sistema de irrigação a qualquer momento.

Figura 11: Tela *equipamentos* do aplicativo móvel.



Fonte: Do autor (2019)

Como forma de auxílio ao usuário e melhoria no manejo dos recursos hídricos, desenvolveu-se a tela *previsão do tempo*, como na figura 12, capaz de fornecer dados climáticos do local de instalação do sistema de controle, com precisão para 7 dias.

A tela em questão exibe os dados sobre as temperaturas mínima e máxima, percentual e quantidade de chuvas, velocidade média e rajadas de vento, além de uma previsão do tempo descritiva sobre o dia, facilitando aos usuários do sistema. Todos os dados são coletados da API Climatempo, sendo essa uma fonte confiável de dados meteorológicos.

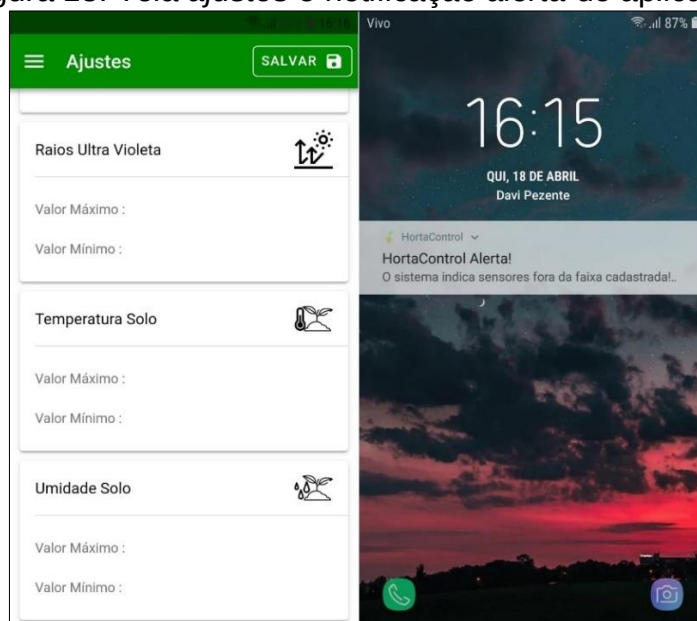
Figura 12: Tela *previsão do tempo* do aplicativo móvel.



Fonte: Do autor (2019)

Sabe-se que dificilmente o usuário irá utilizar o aplicativo por um longo período de tempo e por isso desenvolveu-se a tela *ajustes*, possibilitando que seja parametrizado valores mínimo e máximo para cada sensor do sistema de controle. De maneira automática, é validado os últimos valores dos sensores com os valores cadastrados. Caso algum esteja fora da faixa, é imediatamente disparado um alerta em forma de notificação para o dispositivo do usuário, conforme figura 13.

Figura 13: Tela *ajustes* e notificação *alerta* do aplicativo móvel.



Fonte: Do autor (2019)

Assim que o usuário clicar na notificação *alerta* será direcionado para a tela *home*, possibilitando visualizar os dados lidos pelos sensores.

Para análise completa do sistema de controle em conjunto com o aplicativo móvel, desenvolveu-se o protótipo final.

Para validar o projeto e testar todas suas funcionalidades foi desenvolvido um protótipo de plantação de hortaliças, em pequena escala, conforme figura 9. Utilizou-se uma floreira com dimensões 18cm X 14cm X 50cm onde foi plantado uma variedade de alface. O período de testes do sistema foi de 3 dias, entre 26/03/2019 00:00 até 28/03/2019 23:59, com os dados sendo gravados no servidor a cada aproximadamente 60 segundos. O tempo com que os dados são gravados no servidor pode variar conforme a qualidade e velocidade da internet. Conexões ruins podem levar mais tempo. Pelo fato de as variáveis medidas apresentarem pouca variação durante todo o período, o mesmo apresentou-se satisfatório. No total, foram geradas 5.933 leituras para cada sensor. Destas, apenas a leitura de temperatura ambiente apresentou problema, sendo que foi necessária a substituição do sensor.

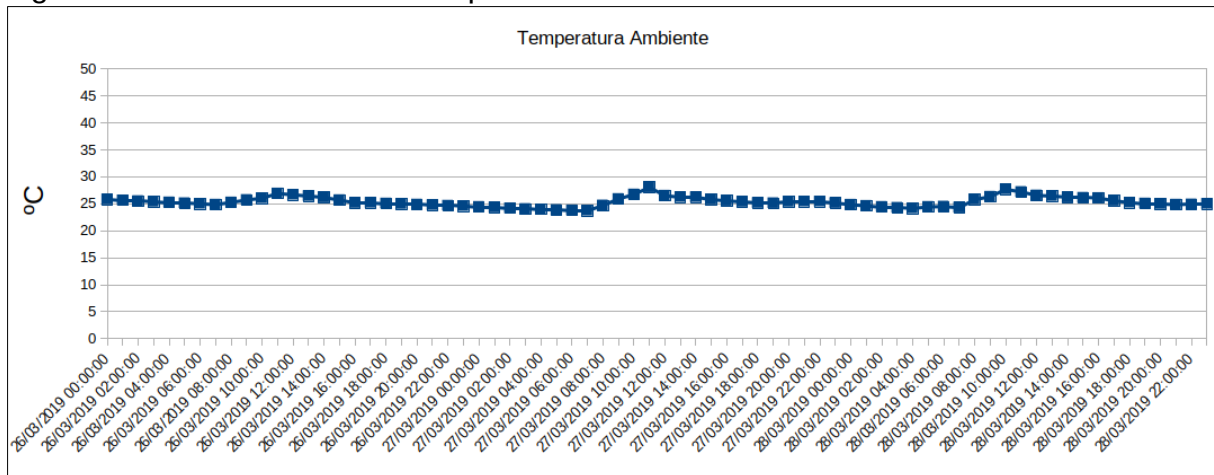
Figura 14: Versão final do projeto.



Fonte: Do autor (2019)

A temperatura ambiente pode ser observada através da figura 10. Nota-se que há um padrão nos dados lidos, apresentando alguns picos de temperatura quando houve incidência solar direta sobre o sistema.

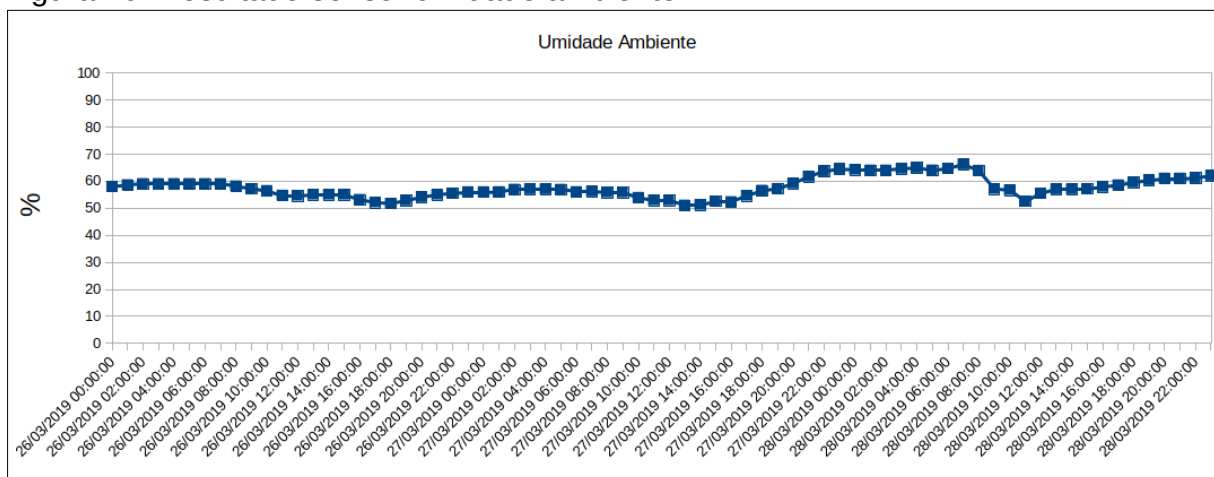
Figura 15: Resultado sensor temperatura ambiente.



Fonte: Do autor (2019)

Na figura 16 é possível observar-se a umidade ambiente. Do mesmo modo que a temperatura ambiente, a umidade não sofreu muitas alterações, devido ao período de teste ser caracterizado por uma semana de tempo seco.

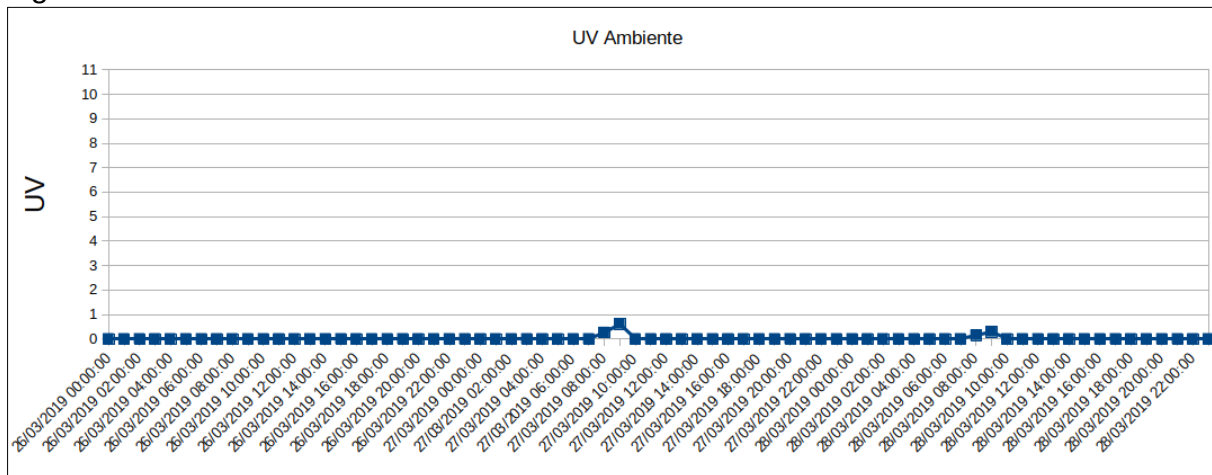
Figura 16: Resultado sensor umidade ambiente.



Fonte: Do autor (2019)

Na figura 17, analisa-se os dados referentes aos raios UV. Por conta dos testes serem realizados em ambiente parcialmente fechado, com abertura através de uma janela, foram poucos os momentos de incidência solar sobre o sensor.

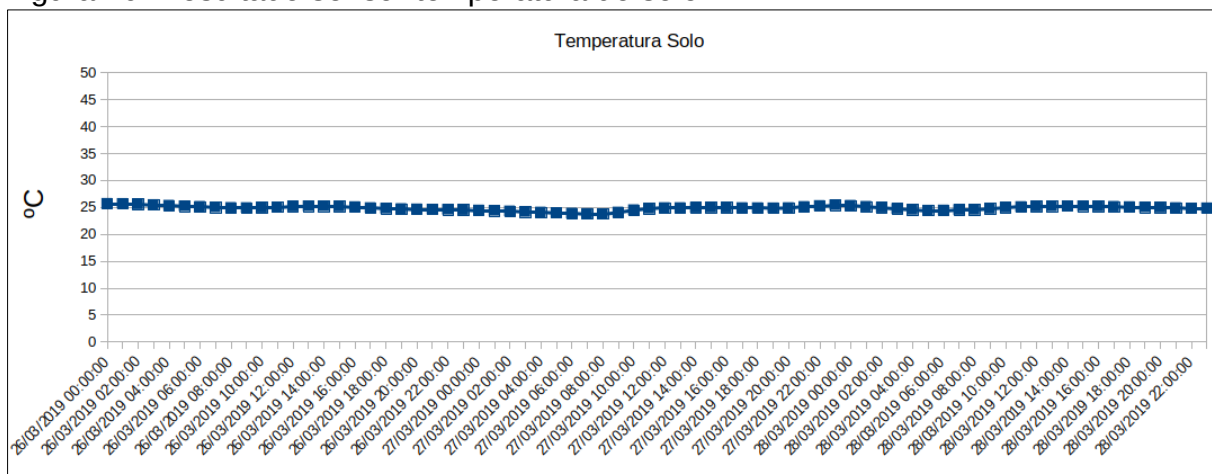
Figura 15: Resultado sensor UV ambiente.



Fonte: Do autor (2019)

A temperatura do solo, conforme analisado pela figura 16, manteve-se praticamente estável, apresentando pouca variação em todo o período mensurado.

Figura 16: Resultado sensor temperatura do solo.

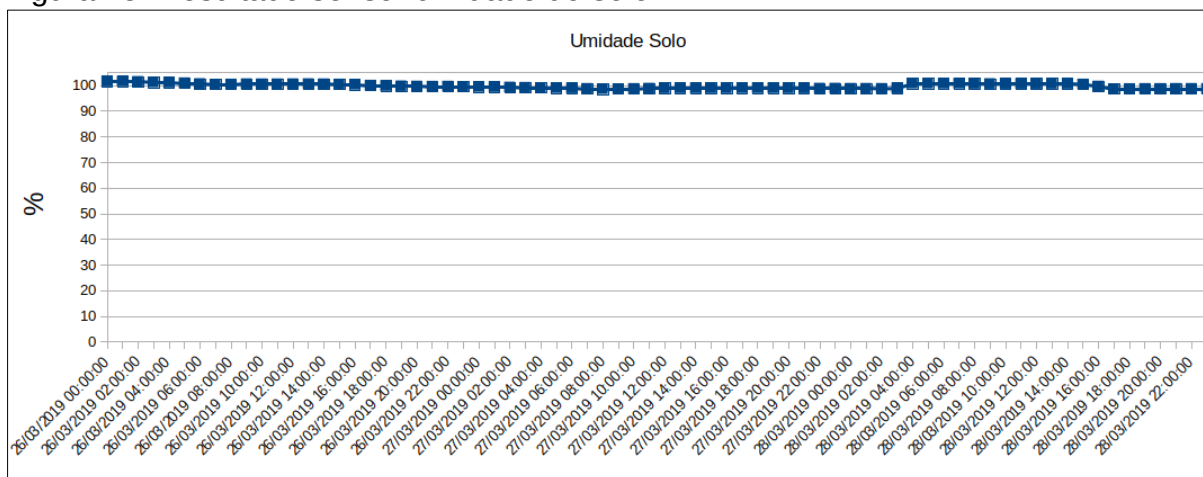


Fonte: Do autor (2019)

As informações de umidade do solo podem ser visualizadas através da figura 17. Observa-se que durante todo o período mensurado, o solo se manteve úmido e em alguns momentos a medida passou dos 100%, chegando a casa dos 101,7% de umidade, sendo que a faixa de medida padrão para umidade é de 0% até

100%. Conforme referencial, o sensor de umidade possui uma acurácia de 3%, portanto, os valores lidos encontram-se em conformidade com a margem de erro.

Figura 15: Resultado sensor umidade do solo.



Fonte: Do autor (2019)

Com base nos dados gerados pelo sistema de controle e visualizados pelo aplicativo é possível, por exemplo, validar qual a temperatura média e a incidência de raios ultravioletas dos últimos dias, auxiliando na gestão dos recursos hídricos, diminuindo o tempo de irrigação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse projeto foi a criação de um protótipo de sistema de monitoramento avançado, de modo que sua utilização possibilite melhorar a produtividade e a sustentabilidade, aliado com a redução dos custos de produção.

De maneira geral, pode-se observar que o projeto traz uma visão completa sobre o ambiente onde a plantação se encontra, além de comandar a irrigação de maneira online. Todos os dados coletados são armazenados em um banco de dados, e ficam disponíveis para consulta através do aplicativo.

O aplicativo auxilia o produtor na tomada de decisão quanto ao momento certo de irrigar a plantação, tomando como base os dados lidos pelos sensores, além de informações sobre previsão do tempo e também notificações de alerta. Com a funcionalidade irrigação, pode-se ligar ou desligar o sistema de irrigação através do aplicativo, sem necessidade de estar presente no ambiente de cultivo.

Pode-se concluir que foram alcançados os objetivos iniciais do projeto, pois foi possível obter um sistema de monitoramento avançado, comandado através de um aplicativo móvel, auxiliando produtores no cultivo de hortaliças.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Lopes; E. Contini. **Agricultura, sustentabilidade e tecnologia**. Agroanalysis, vol. 32, no. 2, pp. 27–34, 2012.
- [2] N. Makishima. **O cultivo de hortaliças**. 2004.
- [3] Paulo César Tavares de Melo; Nirlene Junqueira Vilela, “**Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**” no. Figura 1, pp. 1–11, 2007.
- [4] SEBRAE, “**Métodos de irrigação em hortaliças**” p. 44, 2015.
- [5] G. B. Amaro; A. G. Marinho; W. M. Nascimento, “**Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**” Circ. Técnica, vol. 47, p. 16, 2007.
- [6] D. R. SILVA, A. C. F. da; PERUCH, L. C. M.; LUCIETTI, D.; TEIXEIRA, E. B.; MARCHESI, “**Produção orgânica de hortaliças no litoral sul catarinense**” Epagri, p. 204p., ilust., 2013.
- [7] W. A. Marouelli; W. L. C. Silva, “**Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**” vol. 2, p. 24, 2011.
- [8] L. C. D. Drumond, “**Irrigação de Pastagem**” p. 15, 2013.
- [9] R. Testezlaf, “**Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**”. 2017.
- [10] N. B. DO PRADO, “**Apostila de Oleicultura**” pp. 1–32, 2012.
- [11] I. J. S. DISTEFANO, J. J.; STUBBERUD, A. R.; WILLIAMS, “**Outline of Theory and Problems of Feedback and Control Systems**”, 2nd ed. New York, 1990.

[12] D. J. de Souza, “**Desbravando o pic**”, 8th ed. São Paulo, 2005.

[13] S. Jucá, “**APOSTILA DE MICROCONTROLADORES PIC E PEFIFÉRICOS**”. 2017, p. 276.

[14] Arduino.cc, “**What is Arduino?**”. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. Acesso em: 17 abril 2018.

[15] A. S. Hachouche, “**Apostila Arduino Básico**”. Disponível em: http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduino_Basico-V1.0-Eletrogate.pdf. Acesso em: 16 abril 2018.

[16] M. McRoberts, “**Arduino Básico**” p. 456, 2011.

[17] WILTRONICS. **UV Detection Sensor Datasheet**. Disponível em: <https://www.wiltronics.com.au/wp-content/uploads/datasheets/ARD2-2062.pdf>. Acesso em: 24 março 2019.

[18] Maxim Integrated. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> >. Acesso em: 14 abril 2019.

[19] SENSIRION. **Datasheet SHT20 Humidity and Temperature Sensor IC**. Disponível em: https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=497 >. Acesso em: 24 março 2019.

[20] AOSONG. **Temperature and humidity module DHT11 Product Manual**. Disponível em: https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf >. Acesso em: 24 março 2019.

[21] DSA. **O QUE É ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV)?**. Disponível em: http://satelite.cptec.inpe.br/uv/docs/O_que_e_Indice_Ultravioleta_rev1.pdf >. Acesso em: 15 abril 2019.

[22] D. V. LUIS, **ÍNDICE ULTRAVIOLETA**. Disponível em: < http://intranetua.uantof.cl/crea/INDICE_UV__PARA_PUBLICAR_EN.pdf >. Acesso em: 15 abril 2019.

[23] B. MASSIMO; S. MICHAEL, **PRIMEIROS PASSOS COM ARDUINO**, p. 240, 2015.

[24] V. JONAS, **Brasil é 5º país em ranking de uso diário de celulares no mundo**. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-01/brasil-foi-5o-pais-em-ranking-de-uso-diario-de-celulares-no-mundo> >. Acesso em: 12 maio 2019.

[25] MUKHERJEA, Sougata. **Mobile Application Development, Usability and Security**. India: Igi Global, 2016. 320 p.

[26] PEREIRA, L. C. O; DA SILVA, M. L. **Android para desenvolvedores**. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

[27] ON LINE EDITORA. **Android vs iOS**. On Line Editora, 2009. 116p.

[28] DA CRUZ, A. M. R.; PAIVA, S. **Modern Software Engineering Methodologies for Mobile and Cloud Environments**. USA: Igi Global, 2016. 355 p.

[29] IONIC. **Documentation**. Disponível em: < <https://ionicframework.com/docs> >. Acesso em: 15 maio 2019.

[30] DA CRUZ, A. M. R.; PAIVA, S. **Introdução ao Xamarin**. Disponível em: < <https://docs.microsoft.com/pt-br/xamarin/get-started/> >. Acesso em: 15 maio 2019.

ABSTRACT

With the increasing need to optimize resources and seek sustainability, the farmer has been looking for investment in technology over the last few years, obtaining a closer look at the differences, which are often ignored or imperceptible in traditional agriculture. In this way, the use of resources is obtained in a more efficient and sustainable manner. Vegetable crops differ in the cultivation process, due to the great variability of species in small spaces, and the World Health Organization (WHO) has

been encouraging its consumption because of its great health benefits. Based on the growing expansion of technology in agriculture, this research aims to evaluate a prototype for advanced monitoring in the cultivation of vegetables, seeking to improve productivity and sustainability, together with the reduction of production costs.

Key-words: Agriculture; Monitoring; Sustainability; Technology.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por permitir que eu chegasse até essa etapa de minha vida, me proporcionando força e saúde para que eu pudesse superar todas as dificuldades.

Aos meus pais, Cidenir e Neiva, pelo amor e apoio incondicional durante todos os anos da minha graduação.

A minha esposa, Rubia, por estar sempre ao meu lado me incentivando, me compreendendo nos momentos que estive ausente e tendo paciência durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu irmão, Daniel, por todo apoio e incentivo, além da contribuição na minha pesquisa sobre hortaliças.

Ao meu orientador, Gustavo de Lucca, por todos os ensinamentos e pela disponibilidade nos momentos mais inoportunos, aos quais foram extremamente importantes para a conclusão do projeto.

Agradeço também aos meus amigos e a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para minha formação acadêmica e para a realização desse trabalho.