



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL- UFES

CAMPUS DE LARANJEIRAS DO SUL, PR

CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MARIVALDO RIBAS DE GOIS

**UTILIZAÇÃO DE ARDUÍNO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO
DE BAIXO CUSTO.**

LARANJEIRAS DO SUL

DEZEMBRO 2018

MARIVALDO RIBAS DE GOIS

**UTILIZAÇÃO DE ARDUÍNO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO
DE BAIXO CUSTO.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientadora: Prof.^a Dr. Cacea Furlan Maggi

LARANJEIRAS DO SUL

DEZEMBRO 2018

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Gois, Marivaldo Ribas de
Utilização de Arduino em sistema de irrigação
automatizado de baixo custo. / Marivaldo Ribas de Gois.
-- 2018.
51 f.:il.

Orientadora: Doutora Cacea Furlan Maggi.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia, Laranjeiras do Sul, PR , 2018.

1. Manejo de irrigação. 2. Umidade do solo. 3.
Capacidade de campo. 4. Sensor yl-69. I. Maggi, Cacea
Furlan, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

MARIVALDO RIBAS DE GOIS

UTILIZAÇÃO DE ARDUÍNO EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO.

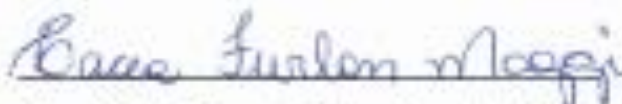
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia com Ênfase em Agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Laranjeiras do Sul (PR).

Orientadora: Professora Dra. Caceia Furlan Maggi


Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

28/11/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr. Caceia Furlan Maggi - UFFS



Prof. Dr. Henrique Von Hertwig Bittencourt – UFFS



Prof. Me. Augusto Cesar Prado Pomari Fernandes – UFFS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus.

Aos meus pais, senhor Antônio e dona Jacira pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha esposa Jaqueline que de forma especial e carinhosa me ajudou com força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades.

Aos meus professores, que durante os 5 anos do curso, proporcionaram conhecimentos técnicos e vivência enriquecedora, em especial a Professora Dra. Cacea, pelo apoio, incentivo, contribuindo com seu conhecimento e experiência para a minha formação e a realização satisfatória do TCC.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, por proporcionar essa vivência e experiência profissional durante a formação acadêmica.

A meu grande amigo Claudiney, por toda força e conselhos.

Ao Thobias engenheiro elétrico pelo apoio técnico para a realização do TCC.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho foi realizado no campus da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Laranjeiras do Sul – PR. Teve como objetivo montar um sistema de irrigação automatizado para o manejo de irrigação de hortaliças. Utilizou a plataforma Arduino para processar sinais enviados pelo sensor YL-69 de umidade do solo e retransmitir os dados de abertura e fechamento de uma válvula solenoide conectado a parte hidráulica do sistema de irrigação. Os dados dos sensores do solo foram transformados para porcentagem de umidade para uma melhor interpretação. Foi necessária a realização da determinação da capacidade de campo (CC) para obter o resultado de 37% de umidade que corresponde ao fator f de disponibilidade de água para a CC de 40,42%. Esse sistema visa redução de mão de obra usada no manejo de culturas irrigadas, minimizando as perdas devido ao uso descontrolado ou ineficiente de água, reduzindo o desperdício de recursos naturais e melhorando assim a qualidade final do produto. Após alguns testes realizados com o sistema ficou claro a facilidade operacional e comodidade que o sistema proporcionou.

Palavras-chave: manejo de irrigação, umidade do solo, capacidade de campo, sensor yl-69.

ABSTRACT

The present work was carried out in the campus of the Federal University of Southern Frontier (UFFS), Laranjeiras do Sul - PR. It aimed to set up an automated irrigation system for the management of irrigation of vegetables. It used the Arduino platform to process signals sent by the YL-69 soil moisture sensor and retransmit the opening and closing data of a solenoid valve connected to the hydraulic part of the irrigation system. Soil sensor data were transformed to percent moisture for better interpretation. It was necessary to perform the field capacity (CC) determination to obtain the result of 37% humidity corresponding to the water availability factor f for the CC of 40.42%. This system aims at reducing the labor force used to manage irrigated crops, minimizing losses due to the uncontrolled or inefficient use of water, reducing the waste of natural resources and thus improving the final quality of the product. After some tests performed with the system it was clear the operational ease and convenience that the system provided.

Key words: irrigation management, soil moisture, field capacity, sensor yl-69.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Plataforma Arduino Mega 2560 | 18 |
| Figura 2: Protoboard para aumentar a distribuição das saídas..... | 19 |
| Figura 3: Jumpers servem para ligar um componente a outro. | 19 |
| Figura 4: Sensor de umidade do solo..... | 20 |
| Figura 5: Modulo Relé Estado Sólido SSR 4 Canais 5 Volts..... | 22 |
| Figura 6: a) Colocando a água de maneira uniforme e deixando que solo absorva tornando saturado; b) Cobertura com o plástico com pesos para fixar. | 25 |
| Figura 7: Momento da coleta de solo em diagonal com duas repetições. | 25 |
| Figura 8: Ambiente de desenvolvimento integrado para inserir códigos no Arduino e outras funções que tem na barra de ferramentas. | 27 |
| Figura 9: Diagrama de montagem do sistema e seus componentes..... | 28 |
| Figura 10: Coleta de amostra para a verificação de umidade. | 30 |
| Figura 11: a) União dos fios de cobre; b) Mangueira plástica com fios de cobre dentro, em uma das extremidades; c) Desenrolamento da mangueira junto com os fios no dia da instalação do sistema. | 31 |
| Figura 12: Construção do abrigo para proteger o sistema. | 31 |
| Figura 13: a) Fixação do pug macho em uma extremidade; b) Instalação da tomada e fixação na parede. | 32 |
| Figura 14: a) União dos fios com os jumpers; b) Instalação da válvula solenoide na mangueira e conexão com a rede elétrica..... | 32 |
| Figura 15: a) Instalação dos sensores de umidade na área experimental próximos aos pés de alface; b) Abrigo para os componentes usados na automação do sistema de irrigação..... | 33 |
| Figura 16: Esboço do sistema montado a campo | 34 |
| Figura 17: Equação da leitura do sensor com umidade. | 35 |
| Figura 18: Sistema ligado com a lâmpada acesa (válvula solenoide ligada). 37 | |
| Figura 19: Sistema ligado com a lâmpada apagada (válvula solenoide desligada)..... | 38 |
| Figura 20: Área irrigada pelo sistema..... | 42 |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. OBJETIVOS GERAIS | 10 |
| 2.2 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 3.1. AGRICULTURA FAMILIAR | 11 |
| 3.2 HORTALIÇAS | 12 |
| 3.3 IRRIGAÇÃO | 13 |
| 3.3.1 Manejo de irrigação. | 13 |
| 3.3.2 Capacidade de campo | 14 |
| 3.3.3 Ponto de murcha permanente | 15 |
| 3.3.4 Relação-água-solo-planta | 16 |
| 3.4. PLATAFORMA ARDUÍNO | 17 |
| 3.5 SISTEMA | 18 |
| 3.5.1 Componentes do sistema | 18 |
| 3.5.2 Protoboard | 18 |
| 3.5.3 Cabo jumper para protoboard | 19 |
| 3.5.4 Sensores | 20 |
| 3.5.5 Válvula solenoide | 21 |
| 3.5.6 Módulo Relé | 21 |
| 3.5.8 Uso do Arduíno na irrigação | 22 |
| 4. METODOLOGIA | 24 |
| 4.1 LOCAL DO ENSAIO E SUAS CARACTERÍSTICAS | 24 |
| 4.2 DETERMINAÇÕES DA CAPACIDADE DE CAMPO | 24 |
| 4.3 CALIBRAÇÕES DOS SENSORES | 26 |
| 4.4 MONTAGEM DO SISTEMA | 27 |
| 4.5 VERIFICAÇÃO DO SISTEMA | 29 |
| 4.6 LEVANTAMENTOS DE CUSTO DO SISTEMA | 30 |
| 4.7 MONTAGEM A CAMPO | 30 |
| 4.8 TRANSFORMAÇÃO DE DADOS | 34 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 5.1 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAMPO | 35 |
| 5.2 MODELO MATEMÁTICO | 35 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3 INSTALAÇÃO A CAMPO | 36 |
| 5.4 TESTE NO LABORATÓRIO | 36 |
| 5.5 TRANSFORMAÇÕES DE DADOS | 38 |
| 5.6 CUSTOS | 40 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 43 |
| 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 43 |
| REFERÊNCIAS: | 44 |
| ANEXO A - PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO PARA O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE ALFACE | 47 |

1. INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é uma das principais fontes de produção de alimentos do país, gera mais trabalho e tem como característica a diversidade na produção. Porém enfrenta grandes dificuldades agronômicas por ter insuficiência de investimentos em infraestrutura.

Um dos maiores desafios para a agricultura na atualidade é encontrar meios para tornar a pequena propriedade mais economicamente sustentável. A existência de poucas tecnologias apropriadas à sua realidade, condição ou a falta de acesso a essas tecnologias têm levado ao uso de práticas tecnicamente incorretas, tendo consequência o empobrecimento dos solos agrícolas, redução das produtividades e endividamentos dos produtores. O resultado tem sido o êxodo rural, que resulta em danos à sociedade (ALMEIDA, et. al. 2002).

O pequeno produtor normalmente produz hortaliças que em pequenas áreas e utiliza bastante mão de obra. Na produção, leva em conta uma série de medidas preventivas de controle fitossanitário, como a escolha de local de plantio, a época de plantio, o tipo do sistema de irrigação, o monitoramento constante de pragas e entre outras.

Sobre o quesito de sistema de irrigação o produtor tende a não utilizar sistemas convencionais devido a seu alto custo, falta de conhecimento e orientação técnica. Dessa forma, nas vezes quando o utiliza, todo o controle e monitoramento são feitos de forma manual, sem o auxílio de máquinas e essa prática pode acarretar inúmeros problemas proveniente da desuniformidade de aplicação de água devido o desperdício, gasto de energia e déficit na produção. É difícil saber quando irrigar, ou quanto de água aplicar no cultivo, juntando com as variáveis de temperatura do ar, umidade do solo e atmosfera, tipo de solo e etc. (CUNHA & ROCHA, 2015).

Os sistemas de irrigação automáticos surgem com uma ótima ferramenta para essas reduções dificuldades, pois conseguem ter valores muito precisos em relação à água se correlacionando com a umidade do solo. Outro fator importante, com a automação o agricultor vai ter mais tempo para outras atividades.

O sistema utilizou sensores capazes de identificar a umidade do solo adequada para o cultivo de hortaliças, esses sensores fizeram à transmissão de dados à plataforma Arduino que induzia o abrimento e fechamento, de uma válvula solenoide, quando atingia níveis pré-programados. O principal objetivo dessa automação é ajudar os pequenos agricultores com a redução da mão de obra e consumo de água, acarretando em benefícios ambientais, econômicos e sociais.

2. OBJETIVOS GERAIS

- Desenvolver um sistema automatizado de irrigação para hortaliças, usando a plataforma do Arduíno.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar sensores de umidade do solo utilizando a plataforma Arduíno.
- Montar e avaliar o funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento automatizado.
- Avaliar a viabilidade econômica dos componentes usados na automação do sistema implantado.

2.2 JUSTIFICATIVA

Desenvolver um sistema de irrigação de baixo custo, com o objetivo do uso eficiente da água, de acordo com a variação de umidade do solo e exigências da cultura.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. AGRICULTURA FAMILIAR

A agricultura familiar possui um modo de produção diferenciado, devido principalmente ao fator econômico e condições de posse. Muitas vezes o pequeno agricultor acaba privado de aumentar a sua produção devido ao recurso de custeio e ao investimento, não tendo como aumentar e aperfeiçoar a sua produção.

A lei 11.326/2006 da agricultura familiar impõe critérios para classificar as propriedades rurais familiares. Além de área de até 4 módulos fiscais, o estabelecimento deve utilizar predominantemente mão de obra própria, ser administrado pela família e ser a exploração da área sua principal fonte de renda.

Conforme dados do Censo Agropecuário de 2006, a agricultura familiar e voltada a produção de alimentos básicos, sendo responsável por 87% da produção de mandioca, 70% da produção de feijão, 46% do milho, 58% do leite, 59% de suínos e 50% das aves, entre outros produtos (IBGE, 2006).

Os dados mostram ainda que as propriedades familiares ocupam apenas 24,3% da área das unidades produtivas, mesmo representando 84,4% do total de estabelecimento, o que evidencia a concentração fundiária no país. (IBGE, 2006). A agricultura de larga escala foi favorecida pelo uso das tecnologias, devido ao seu alto investimento, e a agricultura familiar foi deixada de lado devido sua particularidade.

No entanto para o pequeno produtor existem poucos dispositivos agrícolas apropriados a sua realidade cotidiana. A falta de acesso a essas tecnologias têm levado ao uso de práticas incorretas, com consequente empobrecimento dos solos agrícolas, redução da produtividade e endividamentos de produtores (ALMEIDA, et. al. 2002).

O uso da automação se apresenta como uma forma de reduzir o esforço físico e a mão de obra das operações agrícolas, sob a forma mais humanizada do trabalho e a adequação da mecanização voltada para esse sistema produtivo, deixando assim a unidade produtiva mais competitiva e produtiva (TEIXEIRA, et. al. 2009).

Associado à baixa renda mensal com a pouca oferta dos fabricantes de

máquinas agrícolas, os agricultores familiares têm dificuldades em adquirir sistemas de irrigação específicos para sua condição financeira e do tamanho da propriedade. A partir disso, a agricultura irrigada automatizada possibilitaria mais de um plantio por ano, ou seja, maior produção, bem como a geração de novos empregos, com menores investimentos em comparação a outros segmentos da economia. Ela promove um aumento de renda e diminuição do êxodo rural, melhorando as condições e vida dos produtores e suas famílias. (MANTOVANI; BERNADO; PALARETTI, 2009). No aspecto ambiental também existem ganhos, diminuindo o consumo de água e energia usada para irrigação, utilizando apenas o que a cultura precisa.

3.2 HORTALIÇAS

As hortaliças são plantas de consistência herbácea, geralmente de ciclo curto e tratos culturais intensivos, cujas partes comestíveis são diretamente utilizadas na alimentação humana. Fornecem folhas, hastes, flores, frutos, raízes que são utilizadas na alimentação. Elas complementam a alimentação básica, pois são importantes fontes de vitaminas, sais minerais e fibras, além de apresentarem valor medicinal (AMARO et. al., 2007).

A produção de hortaliças, tanto comercial como para a subsistência, possui um papel importante para a atividade agrícola familiar, ajudando no fortalecimento e garantindo sua sustentabilidade. Trata-se de uma cultura que necessita de uma extensão pequena de terra, e irrigação diferente em relação às outras produções agrícolas.

Ainda que a irrigação seja uma das práticas agrícolas mais importantes para as hortaliças, seu sucesso depende do sistema de irrigação ser adequadamente dimensionado e manejado, e a água utilizada ser de qualidade satisfatória. O sistema deve possibilitar que a água seja aplicada uniformemente, no momento oportuno e na quantidade adequada (MAROUELLI et. al., 2008).

Os horticultores devem estar cientes que apesar das hortaliças serem, em geral, sensíveis ao déficit hídrico, o excesso, seja por precipitações, irrigações muito frequentes ou pela aplicação de quantidades exageradas, pode acarretar sérios prejuízos. Devido às espécies serem sensíveis ao ataque

de doenças, o que a torna um importante componente a ser considerado no manejo integrado de doenças em hortaliças. Contudo, a maioria dos agricultores irriga de forma inadequada, aplicando, em geral, água em excesso (MAROUELLI et. al., 2008).

3.3 IRRIGAÇÃO.

3.3.1 Manejo de irrigação.

A irrigação é uma importante estratégia para otimização da produção de alimentos, permitindo geração de empregos e estabilidade de renda estável, ela não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção de alimentos mas também como uma forma de utilizar os recursos naturais de forma racional. Portanto deve levar em conta os aspectos de sistemas de plantio, rotação de culturas, cobertura de solos, manejo integrado de pragas e doenças (MANTOVANI; BERNADO; PALARETTI, 2009).

Com o manejo de irrigação pode se definir quando e quanto irrigar, tendo como o propósito de aumentar a produtividade e a qualidade das hortaliças e, ao mesmo tempo, maximizar a eficiência do uso de água e energia e diminuir o ataque de doenças e insetos e os impactos ambientais (MAROUELLI et. al., 2008)

A irrigação traz vantagem em seu uso: segurança contra seca (ocorrem estiagens mais prologadas), melhor produtividade para as culturas, melhor qualidade do produto, possibilidade de fazer um programa de cultivo fora de época tradicional, maior eficiência no uso de fertilizantes e introdução de culturas caras, minimizando o risco de investimento (MANTOVANI; BERNADO; PALARETTI, 2009).

As aplicações devem ser realizadas antes da deficiência de água no solo comprometer as atividades fisiológicas das plantas e causar baixa na produção. A quantidade de água a ser aplicada deve ser necessária para repor a água perdida por evapotranspiração das plantas desde a última irrigação, subtraindo-se a precipitação. A irrigação em excesso, além de provocar maior uso dos recursos como energia, também causa a lixiviação de nutrientes

principalmente do nitrogênio. Além disso, a água drenada abaixo das raízes das plantas pode carregar agrotóxicos, os quais, juntamente com os nutrientes e outras substâncias, podem contaminar o lençol freático (MAROUELLI et. al., 2008).

Com intenção de evitar esse desgaste ambiental da água e do solo, pode-se optar em um sistema de irrigação mais preciso que avaliam o nível de umidade do solo ou através da verificação da evapotranspiração onde a cultura está inserida. Por acreditar que são de auto custo e complexos, a grande maioria dos produtores rejeita-os e opta por irrigar apenas com base no seu conhecimento, por meio de práticas inadequadas de manejo. Como resultado, os produtores obtêm reduções na produtividade e na qualidade das hortaliças, e maior ocorrência de doenças e insetos-pragas (MAROUELLI et. al., 2008).

3.3.2 Capacidade de campo

Quando todos os poros do solo estão cheios de água, o mesmo é considerado como em sua máxima capacidade de retenção (BRADY & WEIL, 2013), não sendo ideal para o crescimento de plantas, pois leva a uma condição de anaerobiose, ou seja, a falta de oxigênio causa a mortes da maioria das plantas. Conceitualmente capacidade de campo (CC) é o ponto ótimo para o crescimento dos vegetais.

Na CC, a água sai dos macroporos e o ar entra tomando seu lugar. Os microporos ainda estão cheios de água e podem suprir as plantas com a água necessária. O movimento de água continuará a ocorrer, mas a sua taxa é muito lenta, uma vez que, nessas condições, esse fluxo se deve principalmente às forças capilares, que acontecem apenas nos microporos (BRADY & WEIL, 2013).

A CC também é conhecida como limite superior de água disponível para as plantas (LIER, 2010). É bastante usual nos manejo de sistemas de irrigação, que desligam no momento em que se atinge a umidade de CC diminui perdas de água, reduz custos de irrigação e aumenta a produtividade.

Desde que se observou o fluxo de água e a velocidade de suas variações de umidade do solo verificou que tem uma forte relação com a

infiltração. Depois que a chuva cessa, a água nos poros maiores do solo irá drenar para baixo, muito rápido, em resposta a força da gravidade. De um a três dias depois, esse movimento rápido de percolação diminuiu para valores pequenos, à medida que as forças de pressão da água passem a desempenhar um papel maior no movimento da água remanescente (REICHARDT & TIMM, 2012).

Nestas condições o solo está retendo a máxima quantidade de água útil para às plantas, também se aproxima da umidade ideal para facilitar a escavação. Os macroporos permanecem cheios de ar, em quantidades suficientes para permitir uma boa aeração, facilitando a maior atividade do microrganismo aeróbico e o crescimento da maioria das plantas (BRADY & WEIL, 2013). Ou seja, o sistema de irrigação tem que manter o solo na CC que é ponto ideal para os vegetais expressarem sua maior produção.

Os valores de CC podem variar de um solo para outro dependendo de sua textura e estrutura que está relacionada com a classe do solo que está inserida.

3.3.3 Ponto de murcha permanente

A definição do Ponto de Murcha Permanente (PMP) surgiu no século passado em trabalhos de Veihmeyer & Hendrickson (1950). Definido como “o conteúdo de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele cresce atingem pela primeira vez um murchamento irrecuperável, mesmo quando colocada posteriormente em uma atmosfera saturada com vapor de água” (LIER, 2010).

Quando temos um solo no PMP, a remoção de água passa a ser bastante lenta, especialmente se a sua superfície for coberta para reduzir a evaporação. No entanto, se as plantas estão crescendo no solo, elas vão retirar água da sua zona de enraizamento e o solo continuará perdendo água. À medida que esses poros são esvaziados, as raízes começam a extrair água de poros cada vez menores. Por isso, torna-se cada vez mais difícil para as plantas removerem a água a uma taxa satisfatória (BRADY & WEIL, 2013).

À medida que o solo seca, a taxa de retirada de água pela planta diminui

até chegar ao PMP, que mostra sintomas na planta irreversível mesmo que venha a ser irrigada. Esta condição não deve ser confundida com murchamento temporário causado por uma radiação muito forte (BRIGGS & SHANTZ, 1912 apud FELISBERTO, et. al. 2014).

O PMP é usado para representar o teor de umidade no solo, e que abaixo dessa condição a planta não consegue retirar água do solo na mesma intensidade que a planta transpira, aumentando assim a necessidade por água. Sendo que o vegetal tem vários mecanismos para tentar evitar esse estresse hídrico. Lembrando que esses mecanismos estão totalmente relacionados com a espécie da planta e classe de solo em que está inserida (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Portanto a água disponível as plantas é considerada como sendo aquela entre a CC e PMP, levando em consideração um solo com condições ideais de compactação e estrutura (BRADY & WEIL, 2013).

3.3.4 Relação-água-solo-planta

A água desempenha um papel fundamental na vida da planta (KERBAUY, 2008). A fotossíntese exige que as plantas retirem dióxido de carbono da atmosfera e ao mesmo tempo perda água com a ameaça de desidratação. Para impedir a dessecação das folhas, água deve ser absorvida pelas raízes e transformada ao longo do corpo do vegetal. Mesmo pequenos desequilíbrios entre a absorção, transporte e a perda de água pela atmosfera podem causar déficits hídricos e funcionamento ineficiente de inúmeros processos celulares. Portanto, equilibrar a absorção, e transporte representa um grande desafio para as plantas e seus agricultores (TAIZ e ZEIGER, 2013).

De todos os elementos que as plantas necessitam para crescer e metabolizar, a água é o mais limitante, sendo um solvente ideal para a ocorrência dos processos bioquímicos. Na prática da irrigação de culturas, se reflete o fato de que a água é um recurso-chave e que da mesma forma limita a produtividade agrícola. A disponibilidade de água limita a produtividade ecossistema naturais, levando a diferenças marcantes no tipo de vegetação que se desenvolve no tipo de um gradiente de precipitação (TAIZ e ZEIGER,

2013).

3.4. PLATAFORMA ARDUÍNO

O projeto Arduíno teve início em 2005 na Itália, quando os professores Massimo Banzi e David Cuartielles, perceberam que as tecnologias eram de difícil acesso devido ao seu alto custo. A ideia, então foi desenvolver o Arduíno: sendo uma plataforma aberta, rápida eletrônica versátil, fácil de usar e, principalmente, com um preço acessível para ser de levar a tecnologia de interação para diversas empregabilidades (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Devido ao seu fácil manuseio, pessoas podem aprender facilmente conceitos básicos e criar seus próprios protótipos. A apreciação da plataforma Arduíno cresceu muito rapidamente após as pessoas notarem os aspectos de sua fácil utilização e o baixo custo, o que permite qualquer pessoa de pouco nível de conhecimento pudesse desenvolver seus próprios projetos (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013). Pode utilizá-lo para controlar, monitorar, automatizar, existem projetos de monitoramento da qualidade do ar, medição da temperatura de um líquido, sistemas de irrigação, robôs, impressoras 3D, dentre vários outros (HACHOUCHE [2005?]).

De maneira geral, o Arduíno é uma plataforma (Figura 1) que interage entre o hardware e software. Pois envolve um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware, através sensores, e software através de uma programação específica (MC ROBERTS, 2011).

Figura 1: Plataforma Arduíno Mega 2560



Fonte: Arquivo pessoal

3.5 SISTEMA

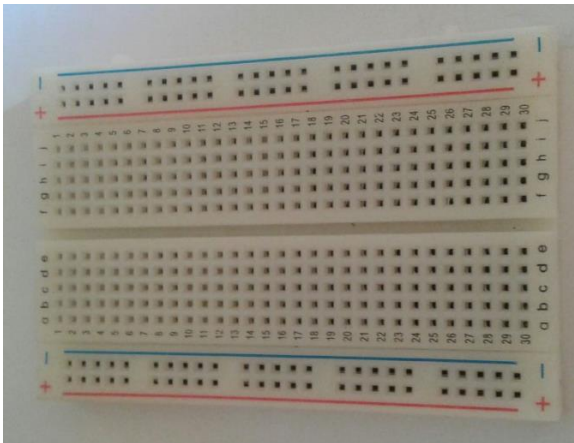
3.5.1 Componentes do sistema

O sistema foi composto por diversas componentes: um Arduíno, um computador conectado a internet e uma saída USB, um cabo USB (com plug do tipo A para B), resistores, cabos de jumper, protoboard, sensores, fios elétricos, válvula solenoide e demais componentes necessários. (FERREIRA, 2016)

3.5.2 Protoboard

É uma placa utilizada para a prototipação (Figura 2), ou seja, no ensaio de montagem de circuitos eletrônicos experimentais. Sua vantagem é devido à facilidade de inserção e remoção de componentes, uma vez que não é necessário soldá-los. Na superfície de uma matriz de contato há uma base de plástico contendo os furos onde são encaixados os componentes (HACHOUCHE, [2005]?).

Figura 2: Protoboard para aumentar a distribuição das saídas.

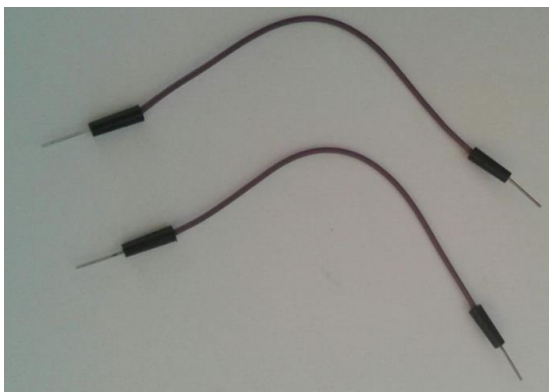


Fonte: Arquivo pessoal

3.5.3 Cabo jumper para protoboard

Os Jumpers (Figura 3) são utilizados para conectar componentes sem a necessidade de soldá-los. Geralmente são utilizados em protótipos, nas protoboards, e são construídos de material condutor envolto de um material isolante.

Figura 3: Jumpers servem para ligar um componente a outro.



Fonte: Arquivo pessoal

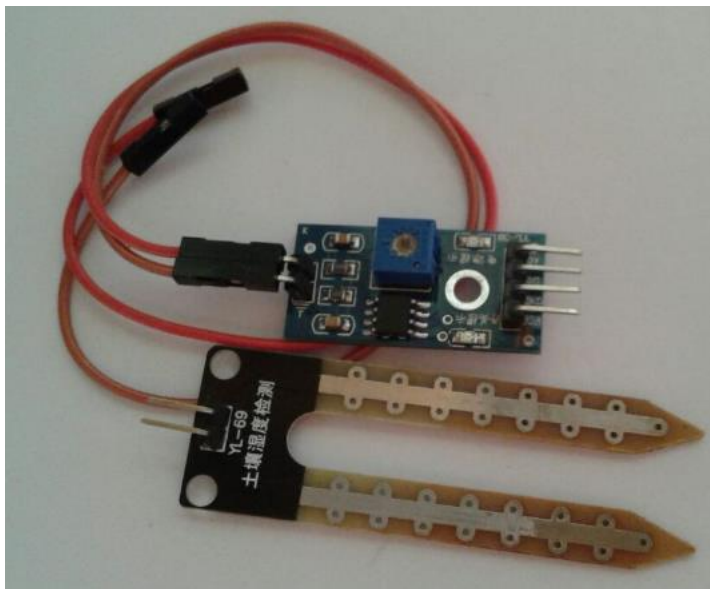
3.5.4 Sensores

São dispositivos que mudam seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza.

O desenvolvimento de sensores e a sua aplicação trouxe como consequência inúmeras vantagens ou comodidades para a vida moderna. Desde a possibilidade de aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e utilizar na automação de dispositivos (PATSKO, 2006).

O sensor que foi usado no trabalho pode ser usado na areia, terra ou até diretamente na água, tem a capacidade de medir a umidade do solo (Figura 4). Aplicando uma pequena tensão nos terminais do módulo YL-69, passar uma corrente que depende basicamente da densidade do solo que se gera no solo e esta depende muito da umidade. Portanto ao aumentar a umidade, a corrente aumenta e ao abaixar a umidade a corrente diminui.

Figura 4: Sensor de umidade do solo



Fonte: Arquivo pessoal

3.5.5 Válvula solenoide

Solenóides são dispositivos eletromecânicos baseados na locomoção, causados pela ação de um campo magnético originado por uma bobina e são muito utilizados nas válvulas para limitação de fluidos com a abertura e fechamento do canal (SILVA & LAGO, 2002).

A estratégia de controle dos canais fluídicos em sua grande maioria é pelo acionamento elétrico, isto é com a aplicação de uma tensão de alguns volts aplicada sobre o solenoide que faz com que um núcleo metálico ferromagnético se mova, ocasionando a modificação do estado da válvula (SILVA & LAGO, 2002).

3.5.6 Módulo Relé

O relé é um dispositivo eletromecânico, formado por um magneto móvel, que se desloca unindo dois contatos metálicos. O funcionamento de um relé é bem simples, quando uma corrente circula pela bobina esta cria um campo magnético que atrai um ou uma série de contatos fechando ou abrindo circuitos (PIMENTA, [2000?]). Sua função principal é controlar correntes altas, e tensões baixas impostas a um circuito, podendo ser colocado à prova quando comutado a uma tensão muito baixa, e uma corrente mais baixa ainda. O Módulo Relé Estado Sólido 4 Canais 5V (SSR) (Figura 5) é ideal para realizar um trabalho de alto nível, sem desconfiar de desgaste de seus componentes mecânicos.

Figura 5: Modulo Relé Estado Sólido SSR 4 Canais 5 Volts.



Fonte: Arquivo pessoal

3.5.8 Uso do Arduino na irrigação

Hoje no Brasil existem diversas tecnologias disponíveis voltadas para o meio agrícola, porém são inovações caras que necessitam de grande investimento fazendo com que agricultores familiares e de médio porte não tenham total acesso. Apesar disso, a irrigação vem sendo uma das tecnologias mais utilizadas por agricultores, pois independente da ocorrência de precipitação ou não, garante aos produtores colheita uniforme e minimiza os riscos de perdas por falta ou excesso de água (BARBOSA, 2013).

O sucesso na produção da maioria das hortaliças, mesmo em locais onde não ocorre estiagem, está associado ao uso de um sistema de irrigação para suprir a demanda hídrica das plantas. O fornecimento de água pode ocorrer de diferentes maneiras, todos apresentam, vantagens e desvantagens e características específicas. A escolha deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica, através da análise de fatores como: espécie cultivada, tipo de solo, declive do terreno, quantidade e qualidade da água disponível, nível de automação e clima (MAROUELLI & SILVA, 1998).

A automação evolui através de novas tecnologias que são utilizadas em microcontroladores onde nota-se o uso na área de monitoramento ambiental, e a plataforma Arduino vêm se destacando. Muitos aparelhos estão disponíveis no mercado, porém os agricultores estão interessados em um dispositivo prático e barato, capaz de ser instalado sem dificuldades e que cumpra as

funções de controle de umidade e automação (FERREIRA, 2016).

Este sistema utiliza um sensor de baixo custo, que possibilita monitorar a umidade do solo e acionar o sistema automaticamente quando as condições de umidade do solo apresentarem valores abaixo da necessidade da cultura. Este sistema tem aplicabilidade na automação da irrigação, em hortas, casa de vegetação, entre outros. Além disso, a viabilidade econômica pode ser verificada, devido ao baixo custo, facilidade de instalação e manutenção.

4. METODOLOGIA

4.1 LOCAL DO ENSAIO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O trabalho foi realizado no campus da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Laranjeiras do Sul – PR. Com longitude 52°26'26,88" Oeste, latitude 25°26'26,88" Sul e altitude de 805 metros. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfa – Clima subtropical com verões quentes, inverno ameno e geadas pouco frequentes. Temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C (CAVIGLIONE et al., 2000). Com um índice pluviométrico médio de 1800 mm ao ano.

O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico e possui 57,0 % de argila, 24,0 % de silte e 19,0 % de areia. O experimento foi realizado na área experimental da UFFS em cultivo de hortaliças.

O trabalho foi instalado a campo no dia 15/09/2018 e permaneceu até dia 02/10/2018. Foi retirado o sistema de irrigação do campo para um aperfeiçoamento na programação e realização das transformações de dados da leitura do sensor em porcentagem de umidade.

4.2 DETERMINAÇÕES DA CAPACIDADE DE CAMPO

Foi realizada a determinação da capacidade de campo (CC) de acordo com a metodologia de Reichardt (1988). Deve-se escolher uma área com solo uniforme com relação à declividade, com poucas pedras e com tamanho de 2,0 m² procedendo-se uma limpeza, com auxílio de uma enxada retirando resíduos orgânicos não decompostos. Procura-se dividir a área de tal maneira a se ter uma área útil de 1,0 m². Após a demarcação da área, coloca-se água uniformemente distribuída na área total (2,0 m²) (Figura 6 a), até que solo fique saturado, em seguida cobre-se a área com um plástico (Figura 6 b), a fim de evitar perdas por evaporação.

Figura 6: a) Colocando a água de maneira uniforme e deixando que solo absorva tornando saturado; b) Cobertura com o plástico com pesos para fixar.



Fonte: Arquivo pessoal a)

b)

Vinte e quatro horas após o encharcamento da área retiram-se amostras indeformadas do solo com duas repetições em cada profundidade. Uma de 0 a 15 cm e a outra 15 a 30 cm, procurando-se retirar as amostras diagonalmente opostas uma da outra na área útil considerada (Figura 7). Faz-se outra coleta em outro ponto do 1m², com passar de 48 horas com mesmo procedimento realizado com 24 horas.

Figura 7: Momento da coleta de solo em diagonal com duas repetições.



Fonte: Arquivo pessoal

As amostras de solo indeformadas foram retiradas por dois dias, com auxílio de um trado. A metodologia utilizada para determinação da umidade foi o padrão de estufa, que consiste em coletar as amostras de solo em anéis volumétricos de inox (50 cm x 50 cm) (CAMARGO & ALLEONI, 2006). Na sequência foram pesadas e levadas à estufa para secagem a 105° Celsius até atingirem peso constante (REICHARDT & TIMM, 2012).

Em seguida as amostras foram pesadas e determinadas as umidades de cada amostra. A equação 1 apresenta os dados de massas utilizadas para a determinação da umidade gravimétrica em kg.kg^{-1}

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (\text{Equação 01})$$

U= Umidade gravimétrica (kg/kg)

M_u= Massa úmida (kg)

M_s= Massa seca (kg)

Após a determinação da CC, na área que foi 40,42% de umidade (profundidade de 0 a 15 cm) esse valor foi utilizado para se determinar o limite máximo e mínimo de umidade do solo, quando o sistema acionava a válvula solenoide para fazer a irrigação.

4.3 CALIBRAÇÕES DOS SENSORES

Para a montagem do sistema foi necessário verificar as medidas (leituras) dos sensores, pois era necessário informar a quantidade exata de água que continha em cada amostra de solo. Para isso foi utilizada uma amostra de solo seco, anteriormente secado na estufa (CAMARGO & ALLEONI, 2006).

Foram preparadas amostras de solo com umidades conhecidas, equivalentes a 0%, 30%, 40%, 50% e 100% de umidade. Na sequência foram realizadas as leituras dos sensores nas amostras de solo nos diferentes níveis de umidade e foi observado que a escala do sensor variou de 0 a 1024 mV (que corresponde a 5 Volts dividido em 1024 partes). Essa medida realizada pelo sensor é uma medida de capacitância, que posteriormente foi

transformada em umidade, de acordo com o modelo de regressão apresentado na figura 17 nos resultados desse trabalho.

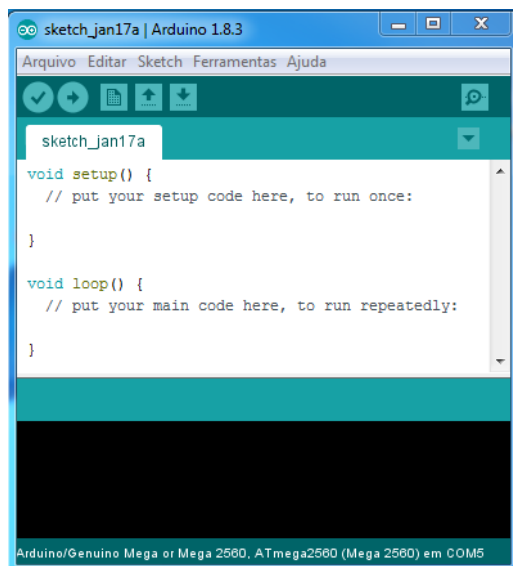
Posteriormente, calculou-se a média das leituras das repetições (4) que foram usadas, inserindo-as na programação para aplicar a irrigação quando a umidade estiver abaixo da capacidade de campo, neste caso, 37,0% (maior 700) de umidade no solo e, realizar o desligamento da irrigação quando o solo atingir a umidade de 37,0% (menor 700).

No sistema foram usados 3 sensores de umidade de solo em diferentes locais na superfície do solo, após a leitura dos sensores o sistema foi programado para fazer a média de umidade e aplicar a lâmina necessária para que o solo chegasse na umidade de CC de maneira uniforme.

4.4 MONTAGEM DO SISTEMA

Para a automação do sistema de irrigação foi utilizado o Arduino MEGA 2560, válvula solenoide, fonte de energia, sensor YL-69, SSR, linguagem de programação e jumpers (fios) para fazer as conexões. Após o código ser configurado no computador na janela Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) (Figura 8) e o download realizado para o microprocessador do Arduino o mesmo passa a fazer as leituras dos sinais elétricos analógicos do sensor de umidade de solo empregado nesse protótipo.

Figura 8: Ambiente de desenvolvimento integrado para inserir códigos no Arduino e outras funções que tem na barra de ferramentas.

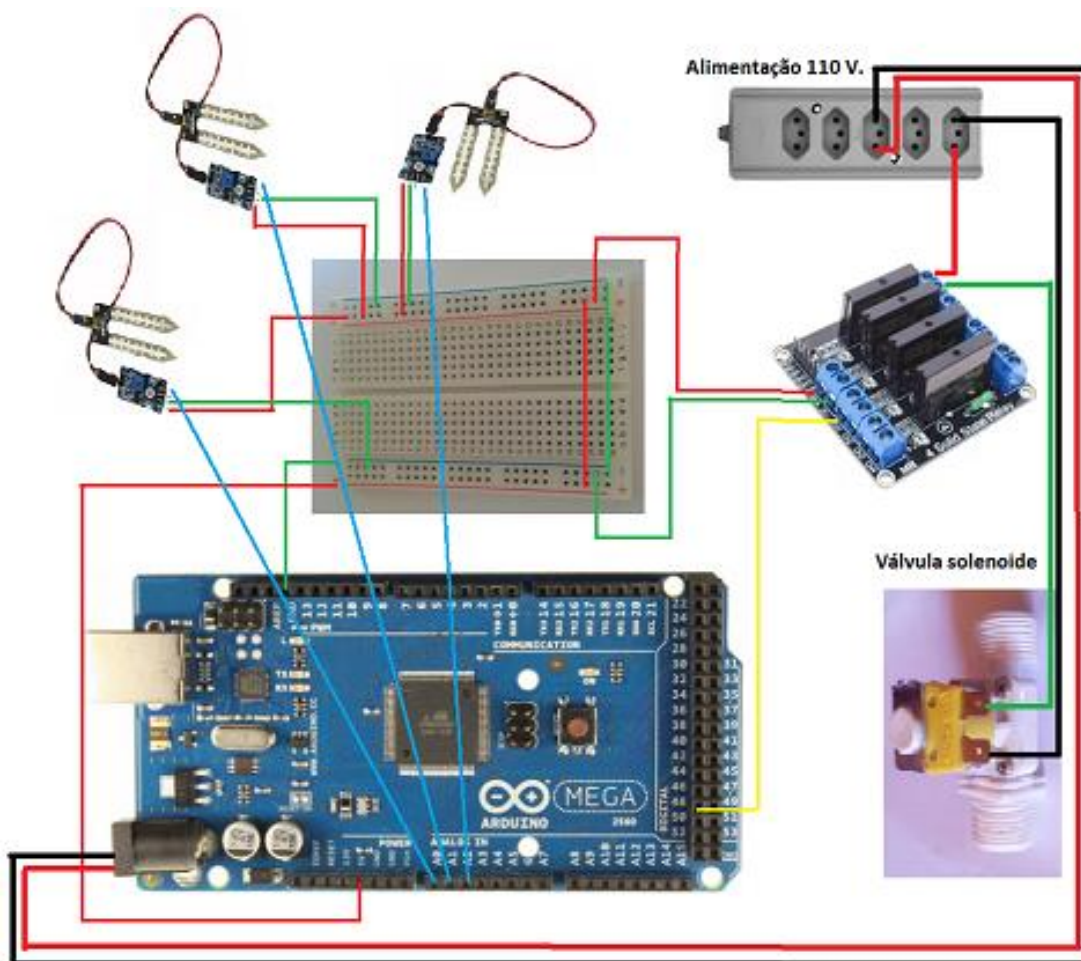


Fonte: Arquivo pessoal

Para o controle da irrigação, uma válvula solenoide foi conectada ao SSR que recebe um sinal analógico, liberando o fluxo de água. Sempre que o sinal analógico de entrada atinge um valor de capacitância correspondente (>700 leitura do sensor, corresponde a $< 37\%$ umidade de solo) a um potencial de água no solo pré-estabelecido de acordo com a necessidade da cultura. O valor de 37% de umidade se encontra entre CC e PMP que a quantidade de água que o solo consegue reter e disponibilizar para as plantas.

Como se trata da cultura da alface possui um fator f que serve para fazer manejo de irrigação que o recomendado segundo a literatura é $0,25-0,35$ (MAROUELLI, et al [2000?]). Isso significa que quando a cultura utilizar 25 a 30% da água que está disponível no solo é o momento de fazer uma nova irrigação, essa condição garante o máximo potencial produtivo da cultura. Em seguida prosseguiu com a montagem dos componentes (Figura 9).

Figura 9: Diagrama de montagem do sistema e seus componentes.



Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiramente foi disponibilizado a alimentação (110 volts) ao Arduíno e ao SSR com fios de 2,5 mm flexível de cobre ligados a uma tomada conforme Figura 9. Depois foi conectado Arduíno ao SSR através dos jumpers no pino de saída 48 ligado ao CH1.

Em seguida foi conectado o sinal negativo (“terra”/GND) na protobord que tem a função de ampliar o número de pinos de saída do sinal, pois o Arduíno não possuía muitas. Dessa maneira alimentou os 3 sensores e o SSR com o sinal negativo. Seguindo a mesma lógica se faz para 5 Volts que está no Arduíno que serve de alimentação para os demais componentes (sensores e SSR), essas ligações foram realizadas com jumpers. Após fazer todas as ligações, conforme a Figura 9 prosseguiu com o download da programação (descrita no Anexo 1) na placa Arduíno, através do IDE (ícone “carregar”).

Dentro da programação foram inseridos os códigos para que os 3 sensores fizessem a média entre as leituras. Com a intenção de aumentar a área avaliada e monitorada pelo sistema de irrigação.

4.5 VERIFICAÇÃO DO SISTEMA

Para a verificação do sistema foi utilizado o método que consiste em fazer coletas de amostras de solo bem próximos aos sensores para verificar a umidade, ou seja, verificar-se o sensor foi calibrado corretamente e sua precisão.

No decorrer do funcionamento do sistema, foram realizadas coletas de amostras de solo, com 3 repetições em volta do sensor a uma distância de 4 cm, na superfície do solo (Figura 10) para verificar se a umidade estava dentro do estabelecido.

As coletas sempre foram realizadas após um período 1 a 2 dias de pleno sol para que a precipitação não interferisse no resultado da umidade.

Figura 10: Coleta de amostra para a verificação de umidade.



Fonte: Arquivo pessoal

4.6 LEVANTAMENTOS DE CUSTO DO SISTEMA

O levantamento dos custos foi feita por pesquisa na internet, apresentando variação de preço dependendo do local de compra. Lembrando que esse levantamento de custos foi baseado apenas nos componentes elétricos não contabilizando materiais de apoio como computador, eletricidade, mão-de-obra, abrigo para o sistema.

4.7 MONTAGEM A CAMPO

Passo 1: Unir dois fios de 2,5 mm de cobre, em seguida foi usado um arame galvanizado de 5 mm rígido para ser usado como guia para introduzir os fios de cobre dentro da mangueira plástica de 40 metros para ter melhor isolamento e evitar deterioração (Figura 11).

Figura 11: a) União dos fios de cobre; b) Mangueira plástica com fios de cobre dentro, em uma das extremidades; c) Desenrolamento da mangueira junto com os fios no dia da instalação do sistema.



a)



b)



c)

Fonte: Arquivo pessoal

Passo 2: Construção de abrigo para componentes elétricos (Figura 12). O abrigo foi feito de madeira utilizando sobras de construções e cumpriu sua função de proteger o sistema contra a umidade.

Figura 12: Construção do abrigo para proteger o sistema.



Fonte: Arquivo pessoal

Passo 3: Fixação da tomada na parede do abrigo do sistema. Instalação do plug macho (Figura 13).

Figura 13: a) Fixação do plug macho em uma extremidade; b) Instalação da tomada e fixação na parede.



a)

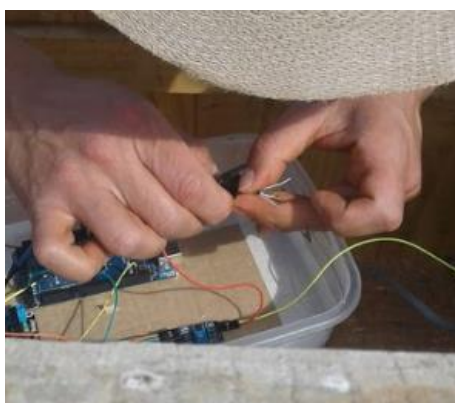


b)

Fonte: Arquivo pessoal

Passo 4: Instalação dos componentes dentro do abrigo e fazer instalação elétrica (Figura 14).

Figura 14: a) União dos fios com os jumpers; b) Instalação da válvula solenoide na mangueira e conexão com a rede elétrica.



a)



b)

Fonte: Arquivo pessoal

Passo 6: Instalação dos sensores no solo, teste do sistema em funcionamento

e realização da cobertura do abrigo do sistema com sobras de telhas de fibrocimento. (Figura 15) Em seguida foi realizado um croqui da área para a distribuição das linhas de gotejo (Figura 16)

Figura 15: a) Instalação dos sensores de umidade na área experimental próximos aos pés de alface; b) Abrigo para os componentes usados na automação do sistema de irrigação.



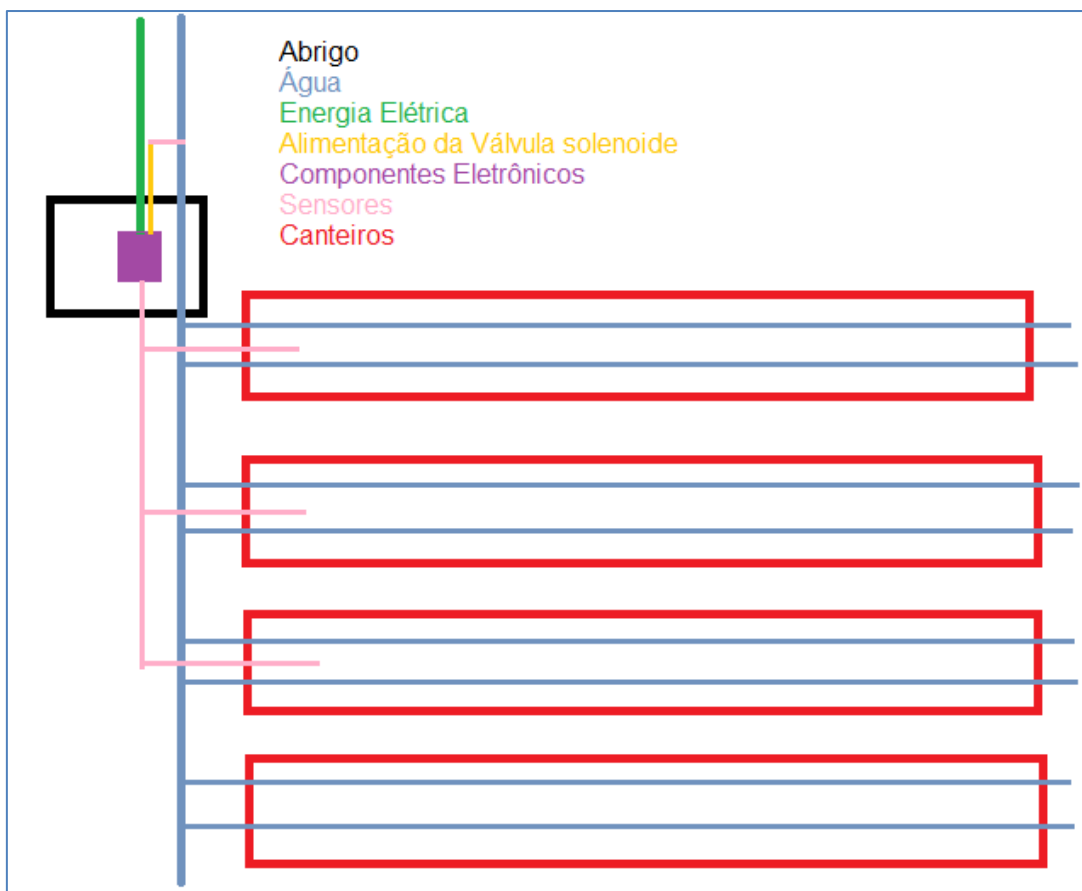
a)



b)

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 16: Esboço do sistema montado a campo.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.8 TRANSFORMAÇÃO DE DADOS

Para transformar os dados foi utilizada uma ferramenta eletrônica, sendo esses dados adquiridos por sensores e recebidos e armazenados em planilhas do Excel, possibilitando assim, as análises estatísticas. O estudo foi integrado ao PLX-DAQ (Parallax Data Acquisition tool) que organiza os dados obtidos do sensor dentro de uma planilha eletrônica, e esta, por sua vez, permitiu o uso da Equação criada pelo modelo matemático de regressão para a transformação dos valores.

Sendo necessário o download da extensão e realização da conexão entre o computador, Arduino e os sensores realizando a leitura da umidade do solo. Esses sensores foram colocados em amostras úmidas ao acaso para a coleta de dados e também observando se estava sendo enviado sinal de abertura para a válvula solenoide.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

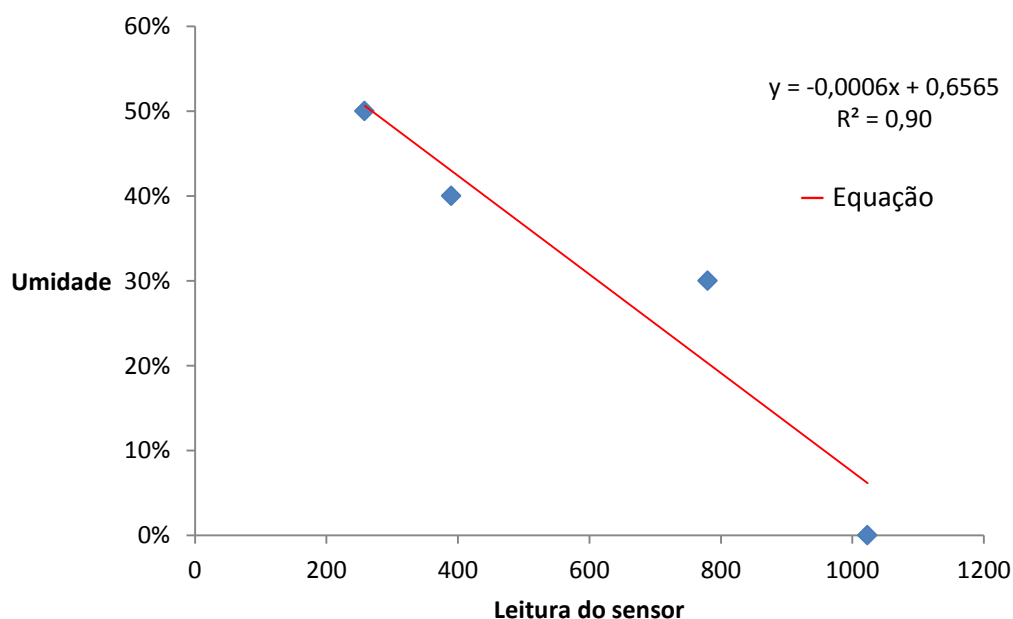
5.1 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAMPO

A determinação da capacidade de campo na área experimental foi realizada conforme descrito na metodologia (uma coleta no dia 12/07/2018, com 4 amostras de solo, com duas de 0 a 15 cm e outra duas de 15 a 30 cm). No dia 14/07/2018 se fez outra coleta em outro ponto do 1m². Fazendo os cálculos da (Equação 1) obteve-se as umidades. Após isso se calculou as médias das repetições nas mesmas profundidades e também dos dias. Obteve-se um resultado de 40,42 e 42,55 % de umidade na profundidade de 0-15 e 15-30 cm, respectivamente.

5.2 MODELO MATEMÁTICO

A calibração do sensor capacitivo foi de acordo com a construção de um modelo matemático de regressão envolvendo a umidade do solo (U) e a capacitância (C) (Figura 17) do sensor medida de 0 a 1024 mV.

Figura 17: Equação da leitura do sensor com umidade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 17 podemos observar a leitura do sensor que mede a capacitância. Através da transformação dos dados pela equação de regressão foram determinados os limites mínimo de umidade, através da leitura do sensor e o momento em que ocorre a abertura da válvula solenoide e início da irrigação, e máximo (leitura do sensor) em que ocorre o fechamento da válvula solenoide e desligamento do sistema.

Outro ponto importante é que a transformação dos dados em porcentagem de umidade facilita a interpretação pela pessoa responsável em instalar o sistema a campo, bem como pelos produtores que usarão o sistema.

5.3 INSTALAÇÃO A CAMPO

O sistema foi instalado a campo no dia 15/09/2018 para realização dos primeiros ensaios. Com a intenção de verificar a umidade do solo, foram realizadas as coletas de amostra de solo (conforme figura 10) em volta do sensor do dia 17/09/18 por volta das 18h00min, foram realizadas 3 repetições conforme a metodologia descrita anteriormente. A umidade foi determinada pelo método padrão de estufa, e a média de umidade obtida nessas repetições foi de 41,05%. No dia 21/09/18 foi realizada nova amostragem, obtendo-se a média das repetições de 40,10% de umidade e outra no dia 22/09/2018 com média de umidade de 39,01%. Todas as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm.

Os valores de umidade descritos com 41,05 40,10 e 39,01%, obtidos através da coleta a campo enquanto o sistema estava em operação, podem ter fornecido dados com valores um pouco acima da umidade real, devido à presença do restante da água que estava na linha, o que pode ter influenciado no aumento da umidade. Porém esses valores não interferiram no funcionamento do sistema e no resultado final, além disso, observou-se que em todas as coletas, a válvula solenoide encontra-se desligada.

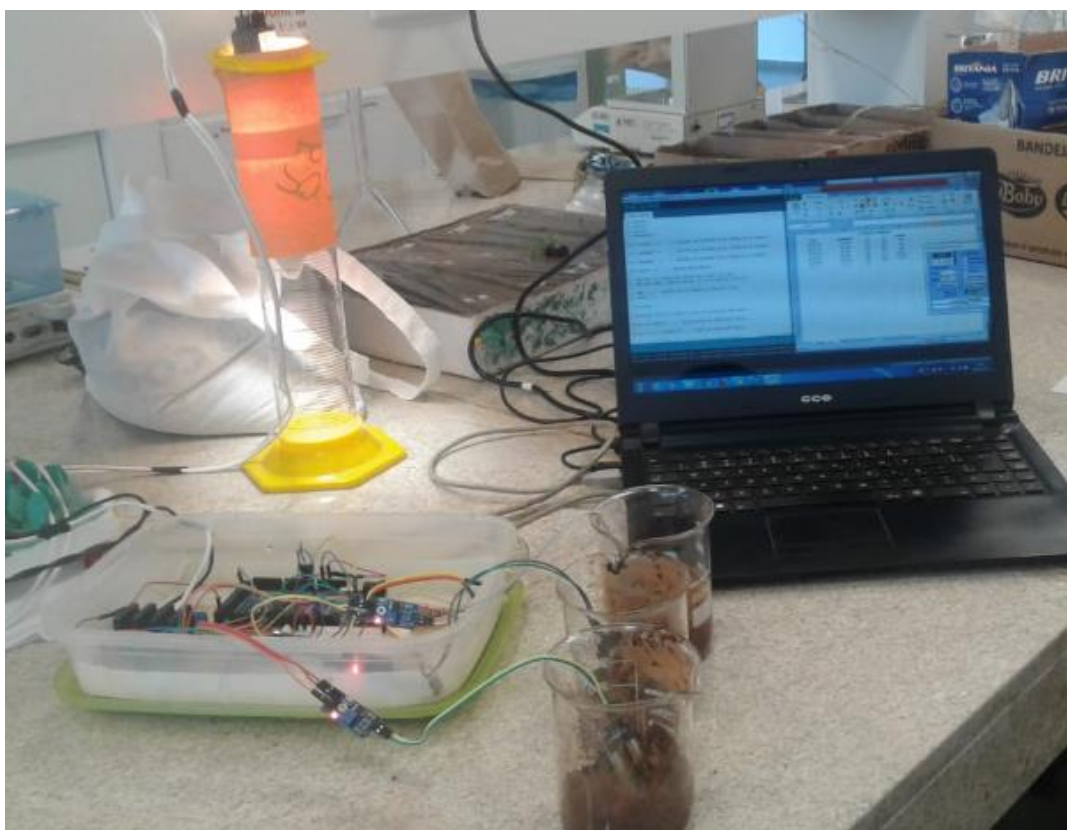
5.4 TESTES NO LABORATÓRIO

Em outro procedimento para verificação do sistema, que foi realizado em

laboratório, apresentou melhores condições de trabalhos devido aos equipamentos contidos nele e também devido ao excesso de precipitação ocorrido durante o período, o que dificultaria os testes a campo. Iniciou-se o ensaio utilizando amostras de solo seco, devidamente secada em estufa e através dos cálculos descritos na metodologia. Foi adicionando água em volumes conhecidos nas amostras e posteriormente realizadas as leituras dos sensores, foram realizados vários testes com umidades variadas até observar o desligamento da válvula solenoide, que durante o teste foi substituída por uma lâmpada de 110 volts. (Figura 18)

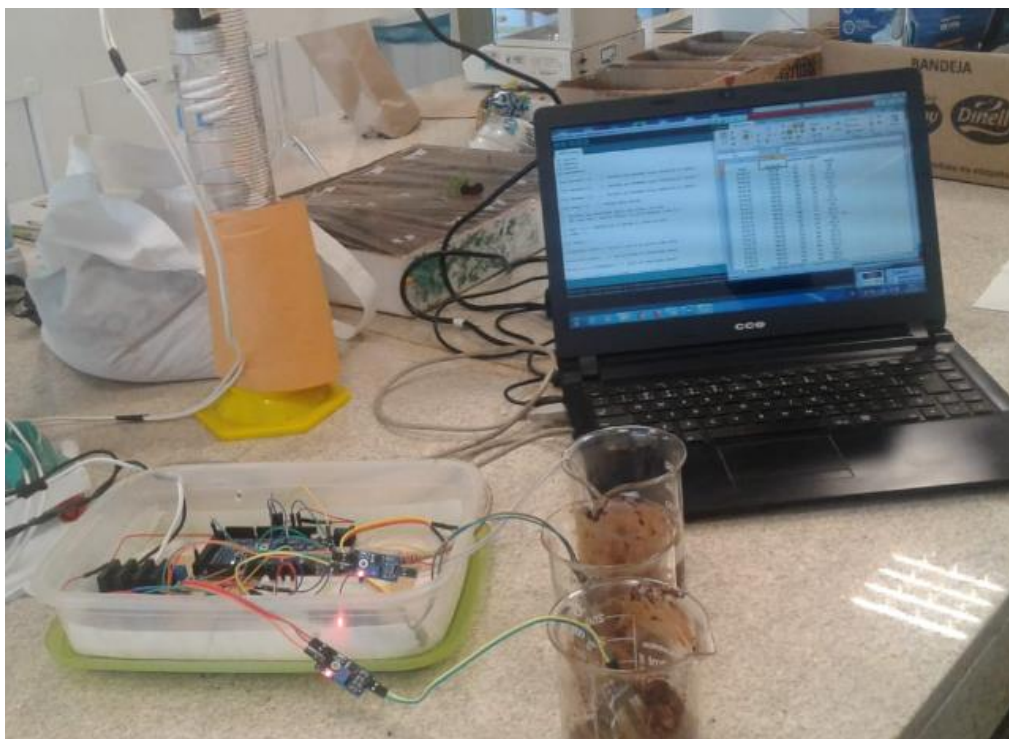
Pois a lâmpada apresentava a mesma voltagem da válvula se tornando mais fácil os testes do sistema sem precisar fazer as ligações hidráulicas, ou seja, se fosse usado a válvula solenoide seria necessário.

Figura 18: Sistema ligado com a lâmpada acesa (válvula solenoide ligada)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 19: Sistema ligado com a lâmpada apagada (válvula solenoide desligada)



Fonte: Arquivo pessoal

Após cinco testes com diferentes teores de umidade nas amostras de solo, foi observado que o sistema se desligava (luz apagava) quando o solo apresentava uma umidade maior de 37%, confirmando o valor de umidade que foi programada na placa do Arduino.

5.5 TRANSFORMAÇÕES DE DADOS

Através da transformação de dados (Tabela 1) de leitura do sensor (0 a 1024 mV) em umidade (%). Foram usadas amostras com diferentes umidades de forma aleatória para verificar a oscilação de umidade e também observar as transformações dos dados através da fórmula de regressão citada na figura 17.

Tabela 1: Leituras dos sensores de acordo com o horário, transformação dos valores de umidade (equação apresentada na figura 17) e estado da válvula solenoide.

| Média da leitura dos 3 sensores | Umidade | Estado Válvula Solenoide |
|----------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| 372 | 43% | Desligada |
| 320 | 46% | Desligada |
| 938,33 | 9% | Ligada |
| 884 | 13% | Ligada |
| 847 | 15% | Ligada |
| 797 | 18% | Ligada |
| 811 | 17% | Ligada |
| 751,33 | 21% | Ligada |
| 937,33 | 9% | Ligada |
| 935,67 | 10% | Ligada |
| 918,67 | 11% | Ligada |
| 836,67 | 15% | Ligada |
| 640,33 | 27% | Ligada |
| 522,33 | 34% | Ligada |
| 538,67 | 33% | Ligada |
| 554,33 | 32% | Ligada |
| 361,33 | 44% | Desligada |
| 385 | 43% | Desligada |
| 402 | 42% | Desligada |
| 417 | 41% | Desligada |
| 420,33 | 40% | Desligada |

Fonte: Elaborado pelo autor

Constatou-se através das avaliações das leituras que o sistema de monitoramento da umidade do solo encontrava-se em níveis adequados para o desenvolvimento da alface, pois apresentava a umidade bem próxima a CC. Também devemos salientar que quando a água no solo é excessiva a concentração de oxigênio no solo é reduzida devido à saturação do solo por um período de tempo, o sistema radicular das plantas pode ser danificado. A

cultura de alface e outras hortaliças são especialmente suscetíveis ao estresse hídrico devido aos seus sistemas radiculares rasos. Escassez de água ocasiona atraso na colheita, qualidade inferior e reduz a produtividade.

Com o resultado da CC e o fator f (descrito na metodologia) foi possível encontrar o momento de umidade adequada para fazer a irrigação, ou seja, quando aplicar água na cultura bem como quanta água era necessária para a mesma, de acordo com a umidade do solo e determinada através da leitura do sensor. Com o propósito de aumentar a produtividade e a qualidade das hortaliças e, ao mesmo tempo, maximizar a eficiência do uso de água e energia. Também contribuindo para um menor impacto ao meio ambiente, minimizando o desperdício de água e energia através do uso eficiente. (MAROUELLI et. al., 2008)

O sistema pode ser usado como uma alternativa contra seca (estiagens mais prologadas), possibilidade de fazer um programa de cultivo fora de época tradicional, maior eficiência no uso de fertilizantes, introdução de culturas minimizando o risco de investimento e uma produção mais ergonômica ao produtor. (MANTOVANI; BERNADO; PALARETTI, 2009)

A aplicação de quantidades adequadas de água associadas a outras técnicas de cultivo melhoram a produtividade e a qualidade de produto final, além de assegurar melhores lucratividades ao empreendimento agrícola (VIERA, [2010?]). O sistema se mostrou capaz de manter a umidade do solo próximo a CC que é a umidade ótima para o crescimento e desenvolvimento da alface.

5.6 CUSTOS

A tabela 2 apresenta os gastos dos componentes do sistema de irrigação, utilizados na montagem, os valores descritos abaixo foram coletados no ambiente da internet podendo ter variação de valores dependendo do local de compra. Lembrando que esse levantamento de custos foi baseado no custo de implantação do sistema usado nesse estudo. Nessa pesquisa não foi contabilizado o computador, mas é um componente necessário para inserir os códigos no sistema.

Tabela 2: Estimativa de custo dos componentes do sistema automatizado de irrigação por gotejamento.

| Componente | Qtd. | R\$/Und.* | Total R\$ |
|--------------------------------------------|------|-----------|---------------|
| Plataforma Arduino Mega 2560 | 1 | 70,00 | 70,00 |
| Sensor de umidade de solo YL-69 | 3 | 10,00 | 30,00 |
| Fita de gotejo em metros de 16 mm | 670 | 0,24 | 156,00 |
| Caixa de vedação de plástico | 1 | 5,00 | 5,00 |
| Mangueira plástica preta em metros de ¾ “ | 40 | 2,57 | 102,8 |
| Fios de cobre 2,5 mm | 40 | 0,68 | 54,4 |
| Jumpers (pacote). | 2 | 9,90 | 19,8 |
| Modulo Relé Estado Sólido 4 Canais 5 Volts | 1 | 38,99 | 38,99 |
| Fios do sensor em metros | 15 | 0,63 | 9,45 |
| Válvula solenoide | 1 | 55 | 55,00 |
| Tomada 10 A. com barra de extensão | 1 | 14,60 | 14,60 |
| Total | | | 560,84 |

Fonte: Elaborado pelo autor

*Preço por unidade.

Para o cálculo do custo não foi considerado a área de terras na qual foi construído o sistema de irrigação. Como a área, pertence à UFFS não houve a necessidade de desembolso de recursos para aquisição da terra. Também não foi necessário a aquisição de conjunto motobomba, devido às condições locais serem favoráveis à distribuição da água por gravidade, área irrigada foi de 400 m², com um espaçamento das fitas de gotejo de 0,60 m. A cultura irrigada foi de alface *Lactuca sativa* conforme a figura 20.

Figura 20: Área irrigada pelo sistema



Fonte: arquivo pessoal

Com relação aos custos de implantação segundo Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) o custo médio de irrigação por gotejamento R\$ 3.000,00 a R\$ 5.000,00 por hectare. Calculando o custo do sistema por hectare, é em torno de R\$ 6180,00 ressaltando que o sistema descrito pelo IPA não tem nenhum tipo de automação apenas seria o valor referente à parte hidráulica do sistema.

Concluindo que a diferença principal desse trabalho está na automação que se resume na praticidade do manejo das hortaliças sempre mantendo a umidade do solo próximo da ideal para o desenvolvimento máximo para o cultivo da alface.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema de irrigação automatizado traz uma série de benefícios aos produtores agrícolas de hortaliças como a aplicação do volume correto da lâmina de irrigação no momento que a cultura precisa, praticidade do uso, economia de energia e recursos hídricos, melhorias na produção e qualidade final.

Este trabalho demonstrou que através de um sistema computacional barato é possível automatizar o processo de irrigação, tornando a produção de hortaliças com menos mão-de-obra no monitoramento do sistema e principalmente com menos desperdício de água.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O sistema de irrigação construído aborda um assunto amplo e com muitas possibilidades de crescimento. Como proposta para trabalhos futuros, possíveis pontos para continuidade e melhorias do projeto são:

- Envio de dados dos sensores por meio de comunicação sem fio;
- Estudos de sensores que utilize umidade relativa do ar e temperatura fazendo a interpolação de dados com sensores de umidade do solo;
- Estudo de monitoramento de irrigação via aplicativo celular ou com uma interface do sistema de irrigação, para proporcionar maior usabilidade entre o produtor familiar e o sistema.
- Avaliar a durabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R.A.; LEÃO, P.G.F.; BARCELLOS, L.C.; SILVA, J.G. **Desenvolvimento e avaliação de uma semeadora adubadora à tração animal**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 2002. Disponível em <<https://repositorio.bc.ufg.br/xmlui/bitstream/handle/ri/13044/Artigo%20-%20Rog%C3%A9rio%20de%20Ara%C3%BAjo%20Almeida%20-%202002.pdf?sequence=5&isAllowed=y>>. Acesso em 26/06/18.
- AMARO, G.B.; et. al. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Embrapa Hortaliças, Circular Técnica 47, Brasília, DF, 2007. Disponível em <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ct_47.pdf >. Acesso em 17/01/2018
- BARBOSA, J. W. **Sistema de Irrigação Automatizado utilizando a plataforma Arduino**. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA - Assis, 57p., 2013.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman, 3º ed., Porto Alegre, 2013.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Reconhecimento e medida da compactação do solo**. Infobibos 2006.
- CAVIGLIONE, J. H. et al. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>. Acesso em: 12/07/2017.
- CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. **Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino**. RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã, v.1, n.2, p.62-74, jul./dec. 2015. Disponível em < file:///C:/Users/Usuario/Downloads/13-54-1-PB%20(2).pdf >. Acesso em 07/07/2017.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.
- FELISBERTO, T.S.; et.al. **Água disponível no solo com ponto de murcha permanente obtido por diferentes métodos**. II INOVAGRI International Meeting, Fortaleza, 2014. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1004246/1/Magnus2014.pdf>>. Acesso em 12/07/17.
- FERREIRA, B.O.; et. al. **Irrigação automatizada com plataforma Arduino em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia**. CONTECC, (Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia), Foz do Iguaçu, Brasil, 2016.

HACHOUCHE, S.A. **Apostila Arduíno básico** v 1.0. Eletrogate. [2005?]. Disponível em http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduíno_Basico-V1.0-Eletrogate.pdf. Acesso em 16/12/17.

IBGE, **Censo Agropecuário 2006**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/censo_agropecuário_2006_28.pdf>. Acesso em: 05/07/17.

IPA **Instituto Agrônomo de Pernambuco**. Disponível em <<http://www.ipa.br/resp28.php>>. Acesso em 15/10/18.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan: SP. ed 2º; pg. 01-03, 2008.

LIER, Q.J. **Física do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo- Viçosa, MG, p.296, 2010.

MANTOVANI, E.C.; BERNADO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Editora: UFV 3º ed. Viçosa, MG, pg.13-18, 2009.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Irrigação por Aspersão em Hortaliças** Qualidade da Água, Aspectos do Sistema e Método Prático de Manejo. Embrapa, 2º ed. Brasília, DF, 2008. Disponível em<[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CNPHIRRIG.PORASPER.EMHORT.08%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CNPHIRRIG.PORASPER.EMHORT.08%20(1).pdf)>. Acesso em 15/01/18.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; **Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças**. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças nº11, junho de 1998. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107339/1/CNPH-DOCUMENTOS-11-SELECAO-DE-SISTEMAS-DE-IRRIGACAO-PARA-HORTALICAS-FL-07821.pdf>>. Acesso em 27/06/2018.

MARQUELLI, W.A; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C. et. al. **Manejo da água de irrigação**. Capítulo 5. [2000?]. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55931/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap5.pdf>>. Acesso em 15/11/18.

McROBERTS, M. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec, 2011. Disponível em <<http://alfasol.centroruthcardoso.org.br/wp-content/uploads/sites/2/2014/10/capitulo9788575222744.pdf>>. Acesso em 07/07/2017.

PATSKO, L.F. **Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, PdP, 2006. Disponível em http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf>. Acesso em 12/10/2017.

PIMENTA, A. Arduíno: Apostila volume 1. Hack.ATOMIC hackerspace. [2000?]. Disponível em < file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ARDUÍNO%20-%20Vol.1.pdf>. Acesso em 28/09/18.

REICHARDT, K. **Capacidade de campo**. Campinas, Revista brasileira Ciência do Solo, n.12, p.211-216, 1988.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Manole, 2º ed., Barueri, SP, 2012.

SILVA, J.A.F.; LAGO, C.L. **Módulo eletrônico de controle para válvulas solenoides**. Nova Técnica, Vol. 25, Nº. 5, 2002. Disponível em < <http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2002/vol25n5/20.pdf>>. Acesso em 18/01/2018.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, 5ª ed, pg. 67-71, 2013.

TEIXEIRA, S.S. et. al. **Caracterização da produção agroecológica do sul do Rio Grande do Sul e sua relação com a mecanização agrícola**. Jaboticabal, v.29, n.1, p.162-171, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n1/a16v29n1>>. Acesso em 01/07/2017.

VIERA, T.A.; SANTANA, M.J.; BIULCHI, P.A.; VASCONCELOS, R.F. **Métodos de manejo da irrigação no cultivo da alface americana**. [2010?]. Disponível em < http://iftriangulo.edu.br/proreitorias/pesquisa/revista/pdf/Resumo_20.pdf>. Acesso em 14/10/18.

VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. **Soil moisture in relation to plant growth**. Annual Review of Plant Physiology, v.1, p.285-304, 1950.

ANEXO A- PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO PARA O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE ALFACE

```

int sensor1;

int sensor2;

int sensor3;

int sensormedia;

float umidade1 = 0; // VARIÁVEL QUE RECEBERÁ VALOR CONVERTIDO
DO SENSOR 1

float umidade2= 0; // VARIÁVEL QUE RECEBERÁ VALOR CONVERTIDO
DO SENSOR 2

float umidade3 = 0; // VARIÁVEL QUE RECEBERÁ VALOR CONVERTIDO
DO SENSOR 3

float media = 0; // UMIDADE MÉDIA MEDIDA

// VARIÁVEIS DA COMUNICAÇÃO SERIAL COM O EXCEL (PLX-DAQ)

// NÃO PODE USAR O "MONITOR SERIAL" DO IDE DO ARDUÍNO
(CONFLITO)

int ROW = 0; // VARIÁVEL QUE SE REFERE AS LINHAS DO EXCEL

int LABEL = 1;

void setup() {

pinMode(48, OUTPUT); // Define o pino 48 do Arduino como saída

Serial.begin(9600); // INICIALIZAÇÃO DA COMUNICAÇÃO SERIAL

Serial.println("CLEARDATA"); // RESET DA COMUNICAÇÃO SERIAL

Serial.println("LABEL,Time,umidade1,umidade2,umidade3,media"); //
NOMEIA AS COLUNAS

}

void loop() {

sensor1 = analogRead(A0); // variável como porta A0

sensor2 = analogRead(A1); // variável como porta A1

```

```

sensor3 = analogRead(A2); // variável como porta A1
sensormedia=(sensor1+sensor2+sensor3)/3;
if (sensormedia > 700){ // Verifica se a Media é maior que 700
digitalWrite(48,LOW);} // Caso seja, maior liga a porta 48
else{ // Senão
digitalWrite(48,HIGH); // Caso a umidade seja menor que 700, desliga a porta
48
}

umidade1 = sensor1 * 1; // 5 VOLTS / 1023 = 0.00488
umidade2 = sensor2 * 1;
umidade3= sensor3 * 1;
media = (umidade1 + umidade2 + umidade3)/3;

Serial.print("DATA,TIME,"); // INICIA A "IMPRESSÃO" DOS DADOS,
SEMPRE INICIANDO COM O "TIME"

Serial.print(umidade1);
Serial.print(",");
Serial.print(umidade2);
Serial.print(",");
Serial.print(umidade3);
Serial.print(",");
Serial.println(media);

ROW++; // INCREMENTA A LINHA DO EXCEL

if (ROW > 500) // LAÇO PARA LIMITAR A QUANTIDADE DE DADOS
ENVIADOS, SERVE PARA LIMITAR O GRÁFICO

{

ROW=0; // RESET DA LINHA

Serial.println("ROW,SET,2"); // ALIMENTAÇÃO DAS LINHAS COM OS
DADOS, INICIANDO DA LINHA 2

}

```

```
delay(5000);      // ESPERA CINCO SEGUNDOS PARA NOVA LEITURA  
}
```