



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia



Vinicius Gustavo de Jesus F. Lemes

**SISTEMA DE MONITORAMENTO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO
PARA IRRIGAÇÃO COM O USO DO MICROCONTROLADOR
ARDUINO**

Limeira, 2018

Vinicius Gustavo de Jesus F. Lemes

**SISTEMA DE MONITORAMENTO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO PARA
IRRIGAÇÃO COM O USO DO MICROCONTROLADOR ARDUINO**

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia
da Universidade Estadual de Campinas como parte
dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel
em Sistemas de Informação em Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Garcia de Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Ronalton Evandro Machado

Este exemplar corresponde à versão final da Monografia defendida por Vinicius Gustavo de Jesus F. Lemes e orientada pelo Prof. Dr. Marco Garcia de Carvalho e pelo Prof. Dr. Ronalton Evandro Machado.

Limeira, 2018



**Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Tecnologia**



Vinicius Gustavo de Jesus F. Lemes

**SISTEMA DE MONITORAMENTO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO
PARA IRRIGAÇÃO COM O USO DO MICROCONTROLADOR
ARDUINO**

Banca Examinadora:

- Prof. Dr. João Bertini Júnior
FT/UNICAMP
- Prof. Dr. Francisco José Arnold
FT/UNICAMP
- Prof. Dr. Marco Antônio de G. de Carvalho
FT/UNICAMP

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Limeira, 29 de junho de 2018

Agradecimentos

Agradeço a todos os envolvidos nesse trabalho, em especial aos orientadores, Prof. Marco Antônio e ao Prof. Ronalton Evandro, que apresentaram disposição e paciência comigo no desenvolvimento da monografia e sempre me auxiliou quando precisei.

Agradeço também a minha falecida mãe e a minha falecida avó, que muito contribuíram para minha formação pessoal, passando os mais sublimes ensinamentos sobre a vida e o mundo, pois elas sempre me incentivaram a estudar e a buscar meus sonhos.

Também agradeço toda a comunidade acadêmica, docentes, funcionários e aos alunos que participaram dessa vivência acadêmica e todas amizades que fiz nesse período.

Aos meus tios, Magnólia Marin e Antônio Marin.

Agradeço também a Mariana Sherrer e a Ivana Sherrer, que tanto me ajudaram com leituras e correções no trabalho e aos bons momentos compartilhados.

Enfim, agradeço a Deus por permitir passar por tantos momentos de aprendizado nessa caminhada.

Resumo

Devido ao uso indevido de água na atividade de irrigação, a falta de incentivo ao pequeno e médio produtor em tecnologia e informações agronômicas, o trabalho em questão visa o desenvolvimento de um protótipo, com utilização do microcontrolador Arduino, o qual permite avaliar dados climáticos e fornecer uma adequada recomendação de irrigação ao produtor com a utilização de uma árvore de decisão com monitoramento em tempo real. O sistema computacional desenvolvido possui um baixo custo, o que o torna viável para implantação em propriedades de pequeno e médio porte. Foi desenvolvido um protótipo para funcionar com vários sensores simultâneos (temperatura, umidade relativa do solo, umidade relativa do ar, radiação ultravioleta, luminosidade e pressão barométrica), sendo também possível acionar dois atuadores: uma válvula solenóide e uma bomba hidráulica. O sistema computacional permite ao usuário o monitoramento e controle à distância, desde que use um dispositivo conectado à Internet. Foi utilizada programação WEB como tecnologia de implementação computacional, permitindo sua utilização em dispositivos móveis e dispositivos convencionais.

Palavras chaves: arduino, irrigação, árvore de decisão, agricultura, agricultura de precisão, sistema WEB, sistema especialista.

Abstract

Due to the misuse of water in the irrigation activity, the lack of incentive to the small and medium producer in technology and agronomic information, the work in question aims at the development of a prototype, using Arduino microcontroller, which allows to evaluate climatic data and provide an adequate recommendation of irrigation to the producer with the use of a decision tree with real-time monitoring. The developed computer system has a low cost, which makes it feasible for implantation in small and medium sized properties. A prototype was developed to work with several simultaneous sensors (temperature, relative humidity of the soil, relative humidity of the air, ultraviolet radiation, luminosity and barometric pressure), and it is possible to drive two actuators: a solenoid valve and a hydraulic pump. The computer system allows the user to monitor and control from a distance, as long as they use a device connected to the Internet. WEB programming was used as a computational implementation technology, allowing its use in mobile devices and conventional devices.

Keywords: arduino, irrigation, decision tree, agriculture, precision agriculture, WEB system.

Lista de Figuras

1.1	Gráfico Vazão outorgada em 2011.....	13
1.1	Retirada e Consumo de Água no Brasil.....	14
1.1	Gráfico Área irrigada por regiões	15
2	Necessidade de Água da Planta e a Irrigação.....	18
2	Fluxo transpiracional.....	19
3.1	Vista superior do protótipo.....	20
3.1	Pacote de Terra Vegetal.....	21
3.1	Vaso Plástico Individual.....	21
3.1	Sensor de umidade relativa inferior.....	22
3.1	Sensor de umidade relativa superior.....	22
3.1	Início da montagem dos vasos - orifício superior.....	23
3.1	O protótipo.....	24
3.1	Interface Atuadores.....	25
3.1	Interface Temperatura.....	26
3.1	Interface Monitoramento dos vasos.....	26
3.1	Interface Recomendação de irrigação.....	27
3.1	Teste do mecanismo de posicionamento.....	28
3.1	Mecanismo de posicionamento – visão superior.....	29
3.1	Mecanismo de posicionamento – visão lateral.....	29
3.1	Servo Motor.....	30
3.1	Módulo Relé com dois canais.....	31
3.1	Ligaçāo em Corrente Alternada.....	31
3.1.1	Válvula Solenoide.....	32
3.1.2	Bomba Hidráulica	32
3.2	Fluxograma Recomendação de Irrigação.....	33
3.3	Árvore de Decisão.....	34
3.3	Entropia.....	37
4	Diagrama Geral.....	39
4.1	Entradas Analógicas.....	41
4.2	Entradas Digitais.....	41
4.3	Conektor de Entrada Jack.....	42
4.3	Conektor USB.....	42
4.4	Interface Gráfica Arduino.....	43
4.5.1	Higrômetro.....	44
4.5.2	DHT11.....	45
4.5.3	Sensor BMP180.....	46
4.5.4	Resistor LDR.....	47
4.5.5	Sensor UV.....	48
4.5.6	Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	50
4.5.7	Câmera IP	50
4.5.8	Shield Ethernet.....	51
5.1	Sensor Ultrassônico instalado na tampa do reservatório.....	54
5.1	Sensor realizando a medição do volume....	54
5.1	Gráfico Distância Sensor (cm) x Tempo (s).....	55
5.1	Gráfico Volume (cm ³) x Tempo (s).....	56

5.2	Sensor Higrômetro oxidado x novo.....	56
5.2	Dados do Sensor de umidade relativa do solo e do Sensor Ultrassônico.....	57
5.2	Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s).....	58
5.2	Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s).....	59
5.2	Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s).....	60
5.2	Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s).....	61
5.2	Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s).....	62
5.3	Comportamento da Pressão Barométrica (mb).....	63
5.4	Gráfico Umidade Relativa do Ar (%) / Temperatura x Tempo (s).....	64
5.5	Gráfico de Índice UV X Tempo (s).....	64
5.5	Céu, dia 31 de Maio de 2018.....	65
5.5	Céu, dia 31 de Maio de 2018.....	65
5.6	Gráfico <i>LDR</i> (<i>Light Dependent Resistor</i>).....	66

Lista de Tabelas

3.3 Tabela de treino.....	35
3.3 Cálculo da Entropia.....	38
4.5.5 Índice UV.....	49
5.1 Medições da altura do reservatório e Calibração do sensor.....	53
5.6 Custo do Material.....	67

Sumário

1 Introdução.....	11
1.1 Motivação.....	12
1.2 Objetivo.....	15
1.3 Organização do texto.....	16
2 Relação Solo-Planta-Atmosfera.....	17
3 O Protótipo.....	20
3.1 O protótipo.....	20
3.1.1 Válvula Solenóide.....	31
3.1.2 Bomba Hidráulica.....	32
3.2 Diagrama.....	32
3.3 Árvore de Decisão.....	34
4 Materiais e Métodos.....	39
4.1 Entrada e saída analógica.....	40
4.2 Entrada e saída digital.....	41
4.3 Comunicação <i>universal serial bus</i> (USB).....	42
4.4 IDE e a interface de programação.....	43
4.5 Sensores.....	43
4.5.1 Higrômetro.....	43
4.5.2 Temperatura e umidade relativa do ar.....	45
4.5.3 Pressão barométrica.....	46
4.5.4 LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>).....	46
4.5.5 Ultravioleta UV.....	47
4.5.6 Sensor ultrassônico.....	49
4.5.7 Câmera IP.....	50
4.5.8 Shield Ethernet.....	51
4.6 Linguagem HTML, CSS, Java Script e PHP.....	51
4.7 Banco de dados.....	52
4.8 Árvore de decisão (estrutura de dados).....	52
5 Resultados e Discussões.....	53
5.1 Sensor Ultrassônico e Calibração.....	53
5.2 Sensor Higrômetro.....	56
5.3 BMP180.....	62
5.4 DHT 11.....	63
5.5 Sensor UV.....	64
5.6 LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>).....	66
6 Conclusão.....	68
Referências Bibliográficas.....	70

Capítulo 1

Introdução

A atividade agrícola é complexa e demanda um trabalho contínuo para obter sucesso na produção. O produtor brasileiro, de pequeno e médio porte, encontra grandes dificuldades para produzir, devido aos entraves para conseguir financiamentos ou à dificuldade de obter auxílio técnico em informação agronômica e tecnológica.

A agricultura familiar possui um lugar de destaque no cenário agrícola do país, sendo responsável pela produção de boa parte dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros. Mesmo com a grande desigualdade na distribuição das terras no Brasil e com a concentração fundiária existente, a agricultura familiar se mostra necessária para atender a demanda de grande parte da população.

SERENINI apud WANDERLEY (2009) informa que a agricultura familiar corresponde por aproximadamente 70% da produção de alimentos básicos para o consumo brasileiro. A atividade é desenvolvida pela própria família, que trabalha no local e detém os meios de produção.

O sistema de produção agrícola, independentemente do tamanho da propriedade, engloba várias atividades; sua abrangência envolve conceitos relativos ao solo, aspectos ambientais do clima e características da cultura em questão. O uso de recursos hídricos é vital para a atividade agrícola; tais recursos são utilizados em praticamente toda a cadeia produtiva, principalmente para atender as necessidades hídricas das culturas, e seu uso é obrigatório para ter sucesso na atividade.

Entretanto, o consumo do recurso hídrico ainda não é realizado de maneira eficiente e racional; mesmo com todo o avanço dos modernos sistemas de irrigação, ainda pode-se perceber o quanto a agricultura utiliza, desperdiça e polui os recursos hídricos. Assim, a irrigação é de suma importância para a produção agrícola.

Segundo BARBOSA *apud* GUIMARÃES (2011), “a irrigação moderna é bastante avançada e possui variados tipos de automação, entretanto o pequeno e médio agricultor, nem sempre têm total acesso a essas tecnologias, seja por problemas financeiros ou por falta de conhecimento”.

Segundo TESTEZLAF (2017), existem quatro formas ou modos de se aplicar água à cultura e, assim, são definidos quatro métodos principais de irrigação, ou seja:

- 1) Aspersão: a água é aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo (na forma de chuva);
- 2) Superfície: quando se utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para a aplicação da água por ação da gravidade (como a enxurrada);
- 3) Localizada: a aplicação da água é realizada em uma área limitada da superfície do solo, preferencialmente dentro da área sombreada pela copa das plantas;
- 4) Subsuperfície ou subterrânea: a água é aplicada abaixo da superfície do solo, dentro do volume explorado pelas raízes das plantas.

1.1 Motivação

É possível fornecer auxílio ao pequeno e médio agricultor para promover um adequado uso do recurso hídrico nas atividades de irrigação, com baixo custo de implementação e utilizando-se de tecnologia moderna. Vários trabalhos, que vão auxiliar na construção dessa monografia, foram verificados.

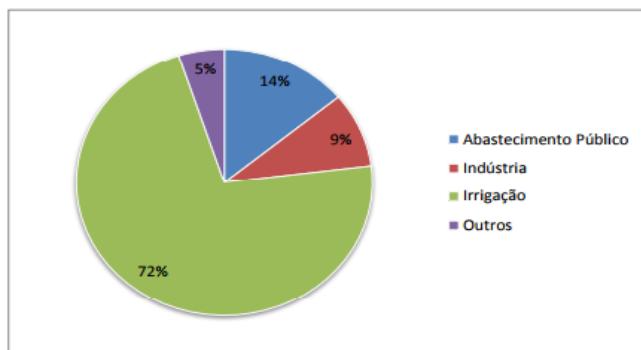
GUIMARÃES (2011) desenvolveu um trabalho que aborda a automação e monitoramento da irrigação da agricultura. O sistema permite um agendamento do dia e horário para realizar a irrigação de acordo com a agenda do *software*. Entretanto, o sistema não recomenda o melhor momento para irrigar nem o volume que a cultura necessita.

Em outra abordagem, BARBOSA (2013) utilizou o microcontrolador Arduino para desenvolver um sistema de irrigação. Ele relata o baixo custo dos equipamentos e dos componentes eletrônicos, o que facilita a implementação do sistema. Contudo, o sistema também não fornece a recomendação de irrigação.

A questão ambiental tornou-se um problema no cenário agrícola, devido ao grande impacto ecológico causado. O consumo de água e seu desperdício também precisam de atenção.

Em pesquisa anterior, MARQUES *apud* COORDINATION SUD (2012); ANA (2012) averiguou que “a irrigação é responsável por 70% de toda a retirada de água doce de rios e outros mananciais e garante 40% da produção agrícola mundial em 20% das terras cultivadas. O último relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil mostra que 72% de toda a vazão outorgada no período entre agosto de 2010 e julho de 2011 foi utilizada na irrigação” (Figura 1).

Figura 1 - Gráfico Vazão outorgada em 2011



Fonte: MARQUES, 2015.

Portanto, o uso da água para irrigação é o maior em comparação ao abastecimento público, indústria e outros serviços.

A partir de dados coletados da Agência Nacional das Águas (ANA), pode-se perceber que as atividades agrícolas são as que mais consomem água no Brasil (Figura 2) e que houve um aumento significativo do uso desse recurso natural, principalmente oriundo da atividade agrícola de irrigação (Figura 3). O controle do estado para obter a outorga permite obter os valores de quanto a atividade agrícola demanda de água para irrigação.

A questão ambiental, principalmente o consumo de água na agricultura, tornou-se um problema no cenário agrícola, devido ao grande impacto ecológico causado. O consumo de água e seu desperdício também precisam de atenção. Por isso, o *software* proposto irá automatizar parte do trabalho no campo, promovendo uma facilidade no controle da irrigação, bem como recomendando os horários corretos de irrigar e o quanto irrigar.

Figura 2 - Retirada e Consumo de Água no Brasil

TOTAL DE ÁGUA RETIRADA NO BRASIL (MÉDIA ANUAL)

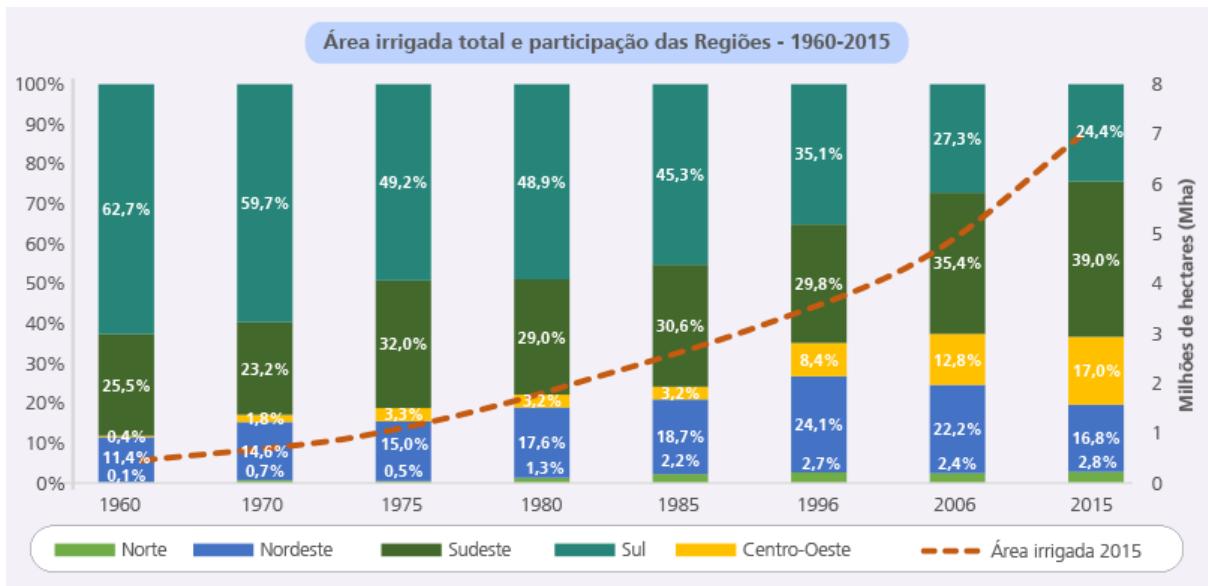


TOTAL DE ÁGUA CONSUMIDA NO BRASIL (MÉDIA ANUAL)



Fonte: Agência Nacional das Águas, 2016.

Figura 3 - Gráfico Área irrigada por regiões



Fonte: Agência Nacional das Águas, 2016.

1.2 Objetivo

O objetivo do trabalho é desenvolver um protótipo de um sistema de irrigação, incluindo a parte física, referente à plantação de uma cultura com a simulação em vasos, e a parte de controle, que será monitorada pelo usuário. O funcionamento do *software* possui duas vertentes: uma computacional e outra eletrônica. A componente computacional é relativa às linguagens de programação utilizadas no desenvolvimento; o banco de dados será responsável em armazenar os dados e a estrutura de dados fornecerá a recomendação de irrigação de acordo com o processamento das informações coletadas nos sensores. Por outro lado, a componente eletrônica utiliza o microcontrolador Arduino, que possui a função de receber os dados dos sensores e enviar as mudanças de estados aos atuadores (bomba hidráulica e válvula solenóide). Os sensores captam os dados ambientais da atmosfera e do solo. Os atuadores são acionados de acordo com os comandos do sistema. A combinação das componentes computacional e eletrônica permite ao usuário do *software* o controle sobre a irrigação e um apoio à decisão de qual o volume a irrigar e qual o melhor momento.

No desenvolvimento do protótipo, foi utilizado como parâmetro base a umidade do solo em 70% como ótima. A leitura do sensor localiza-se na parte superior do vaso utilizado, de modo que a lâmina de irrigação não foi calculada por métodos convencionais de irrigação, devido à situação de prototipagem.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado irrigação de 50 ml, 100 ml e 150

ml e, em alguns momentos, irrigação manual. Todos os testes foram realizados com o intuito de verificar a eficácia dos sensores em perceber as modificações ambientais e, dessa forma, ajustar a árvore de decisão na tomada de decisão.

Outro fator importante é o valor monetário utilizado para construir o protótipo, tendo em vista apenas os aspectos computacional e eletrônico. Nesse caso, não será abordado o uso de bombas hidráulicas e outros componentes de grande porte que fazem parte de um sistema completo de irrigação; apenas o *software* será contabilizado com a finalidade de uso dos pequenos e médios agricultores.

1.3 Organização do texto

Este trabalho está organizado em 7 partes, sendo elas: Capítulo 2, a relação solo planta atmosfera. Capítulo 3, o protótipo e seu funcionamento. Capítulo 4, os materiais e métodos utilizados, descrição dos sensores, linguagens de programação e o uso da árvore de decisão. No capítulo 5 foi mostrado os resultados e gráficos gerados pela coleta de dados. E no capítulo 6, as considerações finais e o custo para implementar a eletrônica do sistema.

Capítulo 2

Relação Planta-Solo-Atmosfera

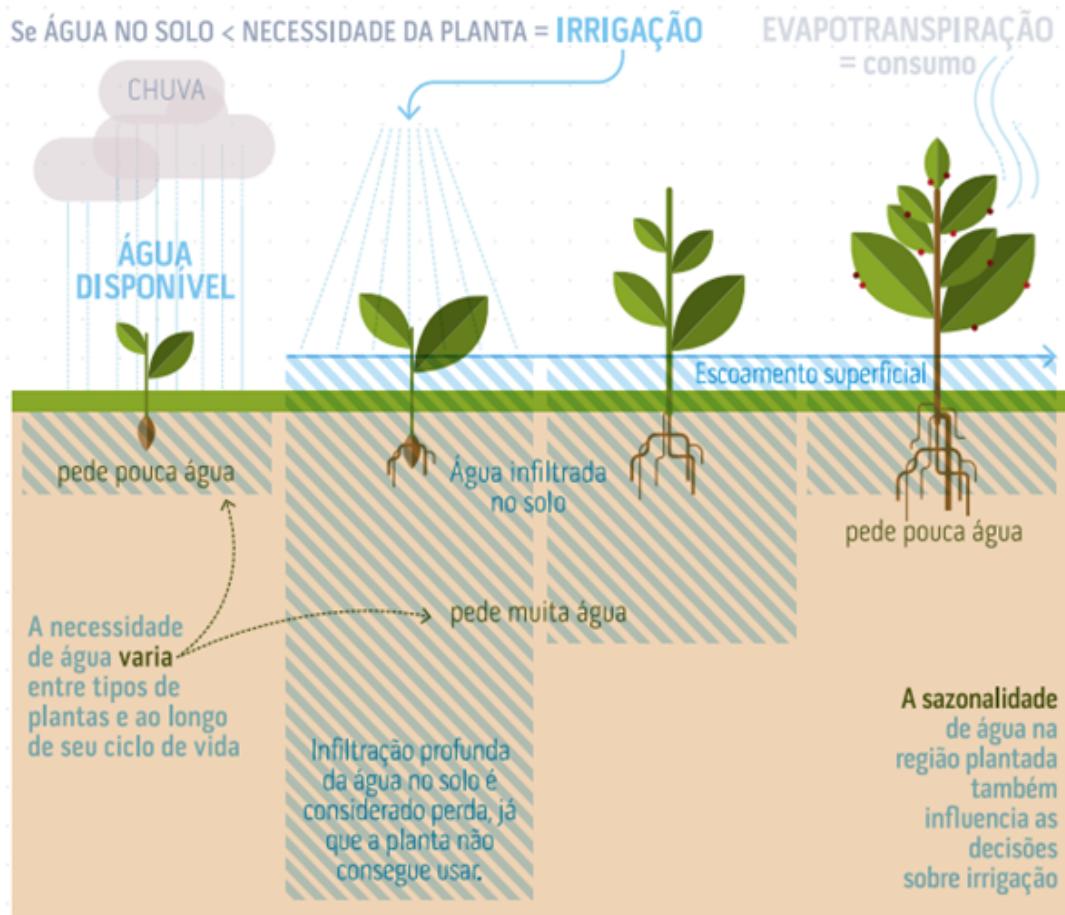
De acordo com FILHO, BASSOI, ANGELOCCI et al. (2011),

O manejo da água na agricultura exige um bom entendimento das relações hídricas no Sistema Solo-Planta-Atmosfera (SSPA), que engloba a caracterização dos processos que envolvem a água em equilíbrio e em movimento em todo o SSPA, constituindo-se de uma vasta área de conhecimento, porque os componentes solo, planta e atmosfera são estruturalmente bastante diferenciados entre si, com diversas formas de interação com a água. O entendimento de que o transporte de água deve ser estudado de uma forma global no SSPA ganhou ênfase nos anos 1960, quando físicos de solo e fisiologistas entenderam que esse transporte envolve um contínuo líquido e que ele depende inclusive das inter-relações entre os diferentes componentes.

Ainda segundo os autores, “entre os fatores do ambiente que afetam o crescimento vegetal e a produtividade agrícola, a disponibilidade hídrica é o mais importante na maioria das regiões, pois define o grau de aptidão climática das regiões às culturas. A deficiência ou o excesso hídricos devem ser considerados no manejo agrícola, e exigem muitas vezes a intervenção humana por meio da irrigação para corrigir ou minimizar essa deficiência”.

Cada cultura necessita de uma quantidade específica de água. A Figura 4 apresenta uma ilustração da necessidade hídrica da planta.

Figura 4 - Necessidade de Água da Planta e a Irrigação



Fonte: Agência Nacional das Águas, 2016

A evapotranspiração é outra variável climática que interfere na necessidade hídrica da cultura e pode ser definida “como a soma da quantidade de água perdida por uma superfície coberta com vegetação, por meio da evaporação direta da superfície do solo e da água perdida pelas plantas por transpiração” (FILHO, BASSOI, ANGELOCCI et al., 2011). Fatores como a irradiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura têm grande impacto no processo de evapotranspiração do vegetal. A saída de vapor d’água ocorre através das estruturas celulares denominadas estômatos. A abertura e fechamento dos estômatos estão condicionados à variação desses aspectos.

Para uma recomendação eficiente de irrigação, é necessário relacionar os componentes: solo, planta e atmosfera. O solo fornece rigidez para as raízes, permite o acúmulo de água nos poros e a disposição de nutrientes, vital para o crescimento do vegetal. A proporção da composição básica do solo (silte, areia, argila e matéria orgânica) impacta significativamente na capacidade do solo de reter água e na sua fertilidade.

Além da sua composição física, o solo possui a fração gasosa e líquida. O termo água do solo é comumente utilizado para referir-se à solução do solo, em que as substâncias minerais e orgânicas se encontram dissolvidas na água, ou seja, a água é um dos seus componentes (FILHO, BASSOI, ANGELOCCI et al., 2011).

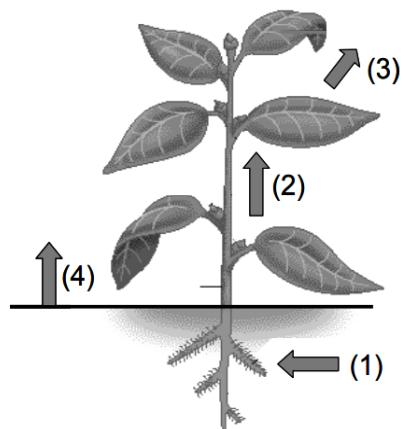
Segundo SHAHIDIAN, GUIMARÃES, RODRIGUES et al. (2012), o solo é o meio natural onde as plantas se desenvolvem, multi-fásico e com composição variada no espaço tempo. Além disso, a transferência de água associada à sua fase fluida exerce influência nas condições e no ritmo de crescimento das plantas, bem como nas suas características.

Para os autores, as plantas têm três órgãos básicos: a raiz, o caule e as folhas; são constituídas por células vegetais, e possuem um revestimento chamado parede celular.

De acordo com SHAHIDIAN, GUIMARÃES, RODRIGUES et al. (2012) ,

O principal fluxo de água numa planta é sem dúvida o chamado fluxo transpiracional (Figura abaixo) que envolve três etapas: (1) a absorção da água do solo pela superfície – epiderme – da raiz e o seu movimento radial até à zona central da mesma; (2) no centro da raiz encontram-se os vasos especializados – xilema – que se estendem pelo caule até às nervuras das folhas, permitindo o transporte rápido ascendente; (3) a partir das nervuras (xilema) das folhas, a água segue em direção à sua superfície onde sofre evaporação – transpiração – para a atmosfera. A planta constitui, assim, uma via alternativa, paralela, à (4) evaporação direta da água do solo para a atmosfera.

Figura 5 – Fluxo transpiracional



Fonte: Hidrologia Agrícola

Capítulo 3

O Protótipo

3.1 O protótipo

Os tipos de irrigação por aspersão, superfície e localizada são ideais para o uso do protótipo, porque são métodos que permitem o uso de bombas hidráulicas e a abertura e o fechamento de válvulas.

O protótipo foi construído com um conjunto de seis vasos de plástico. A seguinte divisão foi realizada: dois vasos foram usados para plantar uma mesma cultura; em outros dois vasos, foi plantada uma segunda cultura, diferente da primeira; e os últimos dois vasos tinham apenas solo. As plantas utilizadas foram o boldo e a planta ornamental “Suculenta”, que possui baixa evapotranspiração. A Figura 6 é a vista superior do protótipo.

Figura 6 - Vista superior do protótipo



Fonte: Própria, 2018.

Para a prototipação do sistema de irrigação foi utilizada a mesma classe de solo, ou seja, solos similares. Assim, as condições foram iguais para os ambientes simulados e apenas as plantas eram diferentes. Esse arranjo possibilita que o sistema perceba as diferenças de umidade de solo em cada vaso do experimento. Também foi usado um conjunto de vasos sem plantas, apenas com o solo puro, para determinar a variação de umidade do solo em cada vaso.

Na Figura 7, pode-se observar um pacote de terra vegetal com volume de 6 litros, o qual foi usado no protótipo.

Figura 7 - Pacote de Terra Vegetal



Fonte: Própria, 2018.

Para o desenvolvimento do protótipo também foram utilizados vasos (Figura 8), para acomodar a terra.

Figura 8 - Vaso Plástico Individual



Fonte: Própria, 2018.

Especificações:

- Volume: 7 litros
- Altura: 33 cm
- Tamanho da base: 11 cm
- Tamanho superior: 16 cm

Em cada vaso, foram acoplados dois sensores para medir a umidade relativa do solo. Um sensor foi colocado na parte superior do vaso para coletar dados próximos à superfície

(Figura 10). E o outro sensor foi acoplado na parte inferior do vaso para coletar dados no limite inferior e simular uma situação do interior do solo (Figura 9).

Figura 9 - Sensor de umidade relativa inferior



Fonte: Própria, 2018.

Figura 10 - Sensor de umidade relativa superior



Fonte: Própria, 2018.

Acima, vê-se o sensor na parte superior do vaso. Esse sensor pode ser colocado diretamente na superfície do solo; ou também na lateral do vaso, todavia, nesse caso existe a necessidade de fazer um orifício para entrada do sensor, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Início da montagem dos vasos - orifício superior



Fonte: Própria, 2018.

Também há sensores de umidade relativa do ar, de temperatura do ar, de pressão barométrica, além de uma câmera e do auxílio dos dados da estação meteorológica da Faculdade de Tecnologia, para efeito de comparação e interpretação. Foi utilizada uma função *IFRAME* para redirecionar os dados da estação meteorológica à aplicação.

Cada vaso foi irrigado de acordo com a necessidade indicada pela árvore de decisão. Um pequeno reservatório de água foi utilizado para aferir o volume, de acordo com a mudança de nível em cada irrigação. Outros atuadores usados foram as válvulas solenóides, para abrir e fechar os condutos, e uma pequena bomba hidráulica, para adicionar pressão ao fluido quando necessário.

O protótipo (Figura 12) é dividido em três módulos, sendo o primeiro referente ao sistema WEB e ao *software* que realiza a decisão de irrigar, o qual é responsável pela comunicação entre o usuário e os dados coletados.

Figura 12 - O protótipo



Fonte: Própria, 2018.

Portanto, a partir de interface gráfica, o usuário pode analisar os dados e tomar sua decisão em relação a irrigar ou não irrigar. É possível também verificar a leitura dos dados, tanto no momento atual como pelos dados armazenados no banco de dados. Nas Figuras 13 a 16, é mostrada a interface gráfica do sistema.

Figura 13 - Interface Atuadores



Fonte: Própria, 2018.

Figura 14 - Interface Temperatura



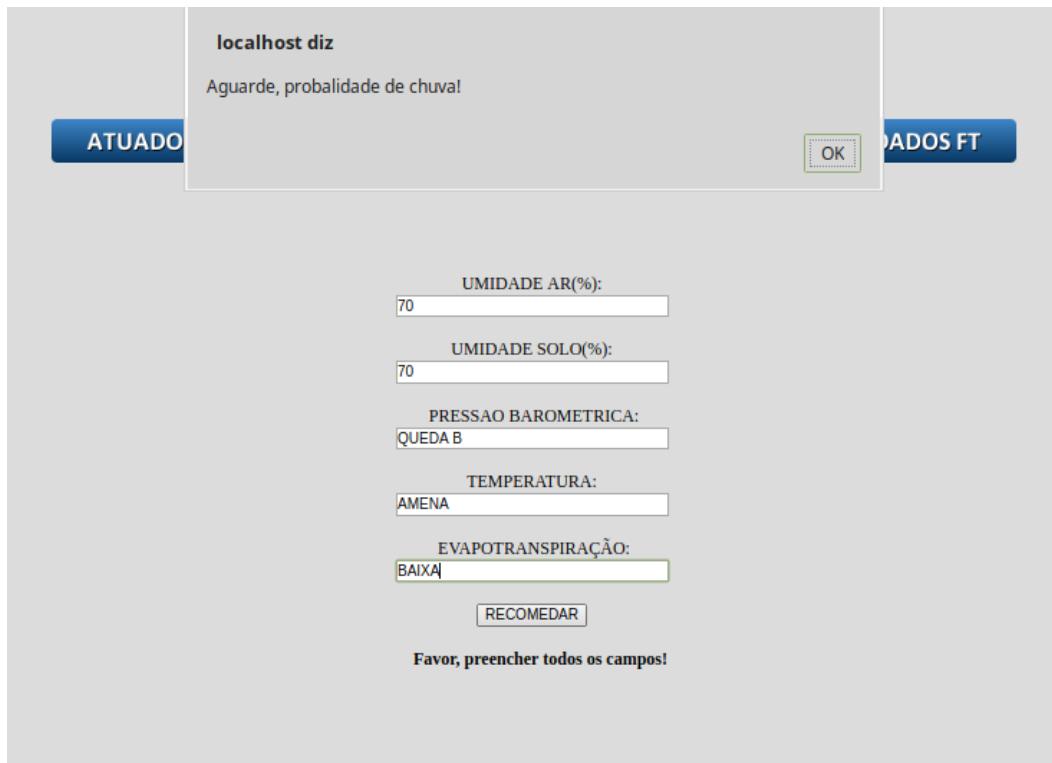
Fonte: Própria, 2018.

Figura 15 - Interface Monitoramento dos vasos



Fonte: Própria, 2018.

Figura 16 - Interface Recomendação de irrigação



Fonte: Própria, 2018.

O segundo módulo é composto pelos sensores e o microcontrolador Arduino Uno. Os sensores são responsáveis pela coleta dos dados, que então fornecem subsídios suficientes para a recomendação da irrigação. A recomendação de irrigação permite decidir não irrigar quando está chovendo, ou quando não atende os requisitos da árvore de decisão. Todavia, quando a irrigação é recomendada de forma positiva, de acordo com a árvore de decisão, no protótipo a irrigação é realizada até o valor de 70% da umidade relativa do solo ser atingida. Também, para efeito de teste, foram utilizados no protótipo os valores de 50 ml, 100 ml e 150 ml, tornando possível verificar o funcionamento da leitura dos dados e sua variação em tempo real. O protótipo permite o controle de quanto volume irrigar e, devido à leitura do sensor ultrassônico em tempo real, pode-se efetuar esse controle de volume. A árvore de decisão indica se, no horário em que se efetua a recomendação, deve-se irrigar ou não.

O terceiro módulo são os atuadores, o sistema de volume e os vasos. Estão presentes dois tipos de atuadores: a válvula solenóide (Figura 23) e a bomba hidráulica (Figura 24).

A válvula solenóide é responsável pela abertura e o fechamento, ocorrendo assim o

escoamento de água para concretizar a irrigação. A bomba hidráulica, por sua vez, é utilizada para encher o reservatório, que armazena a água usada na irrigação. Tanto a válvula solenoide como a bomba hidráulica são ligadas em um circuito de corrente alternada de 127V.

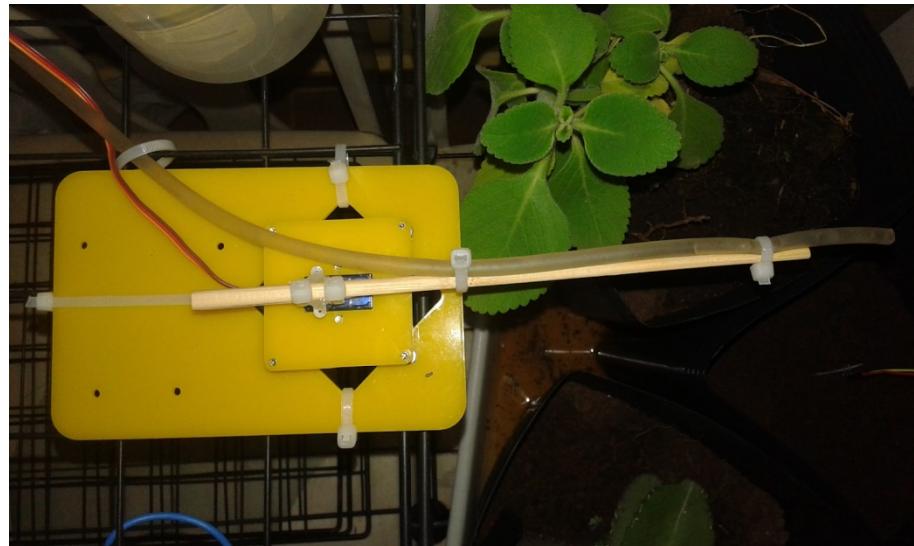
Para posicionar corretamente o conduto que irá irrigar, foi utilizado um servo motor (Figura 20) e ao mesmo foi fixado uma mangueira (Figuras 18 e 19). O servo motor foi programado para se posicionar em três posições diferentes, com uma oscilação de 30°, 90° e 140°, referente ao grau de movimento do motor. Nesse arranjo foi possível irrigar três vasos. Durante os testes do protótipo, foi realizado um rodízio de posicionamento para testar o conjunto de seis vasos. Abaixo, pode-se verificar como o mecanismo foi concebido. Na Figura 17, pode-se observar o resultado de irrigação em solo puro, com a finalidade de testar o funcionamento do mecanismo de irrigação.

Figura 17 - Teste do mecanismo de posicionamento



Fonte: Própria, 2018.

Figura 18 - Mecanismo de posicionamento – visão superior



Fonte: Própria, 2018.

Figura 19 - Mecanismo de posicionamento – visão lateral



Fonte: Própria, 2018.

Figura 20 - Servo Motor



Fonte: Própria, 2018.

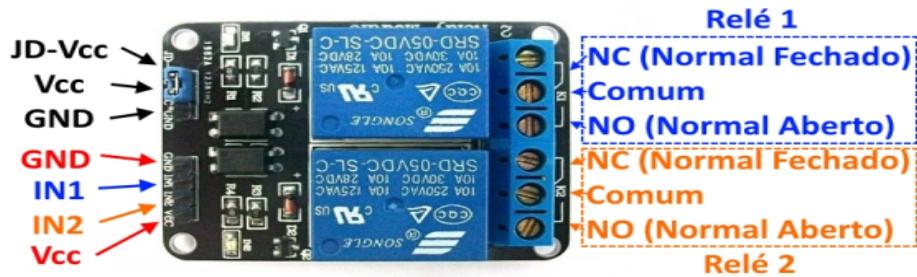
Especificações:

- Voltagem de Operação: 3,0 – 7,2V
- Ângulo de rotação: 180 graus
- Velocidade: 0,12 seg/60Graus (4,8V) sem carga
- Torque: 1,2 kg.cm (4,8V) e 1,6 kg.cm (6,0V)
- Temperatura de Operação: -30C ~ +60C
- Tipo de Engrenagem: Nylon
- Tamanho cabo: 245mm
- Dimensões: 32 x 30 x 12mm
- Peso: 9g

BARRETO, JUNIOR, MURARI *et al.* (2012) observam que, para um bom funcionamento das instalações elétricas, é fundamental que haja um correto dimensionamento da fiação e dos dispositivos utilizados.

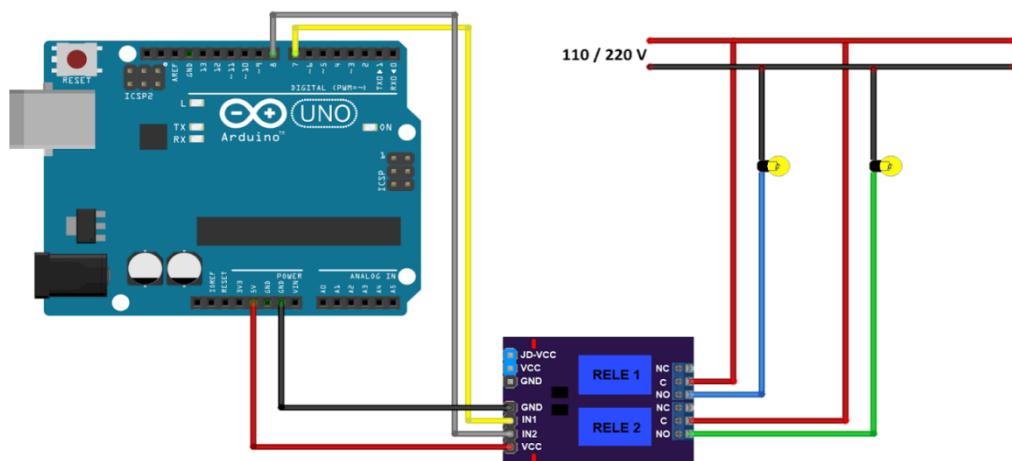
As Figuras 21 e 22, ilustram como a válvula solenóide e a bomba hidráulica foram ligadas ao circuito de corrente alternada, sendo que o acionamento ocorre pelo Módulo Relé de dois canais (Figura 21). Vemos o circuito montado na Figura 22.

Figura 21 – Módulo Relé com dois canais



Fonte: NILTON, 2015.

Figura 22 – Ligação em Corrente Alternada



Fonte: NILTON, 2015.

3.1.1 Válvula Solenóide

A válvula solenóide é um dispositivo que controla o fluxo de água nos vasos quando a irrigação é acionada ou quando não é acionada. Seu funcionamento utiliza um circuito de corrente alternada de 127V. Quando acionada, o fluxo de água é liberado e irriga os vasos; quando não acionada, ela permanece fechada e interrompe o fluxo hídrico.

Figura 23 - Válvula Solenóide



Fonte: Própria, 2018

3.1.2 Bomba Hidráulica

A utilização de uma bomba hidráulica submersa (modelo de aquário) deve-se ao fato de que foram usados dois reservatórios no protótipo. Um deles contém a bomba hidráulica, que é acionada para encher o reservatório de irrigação. Esse arranjo permite o controle exato de quanto foi irrigado no vaso e o controle do volume do reservatório de irrigação.

Figura 24 - Bomba Hidráulica



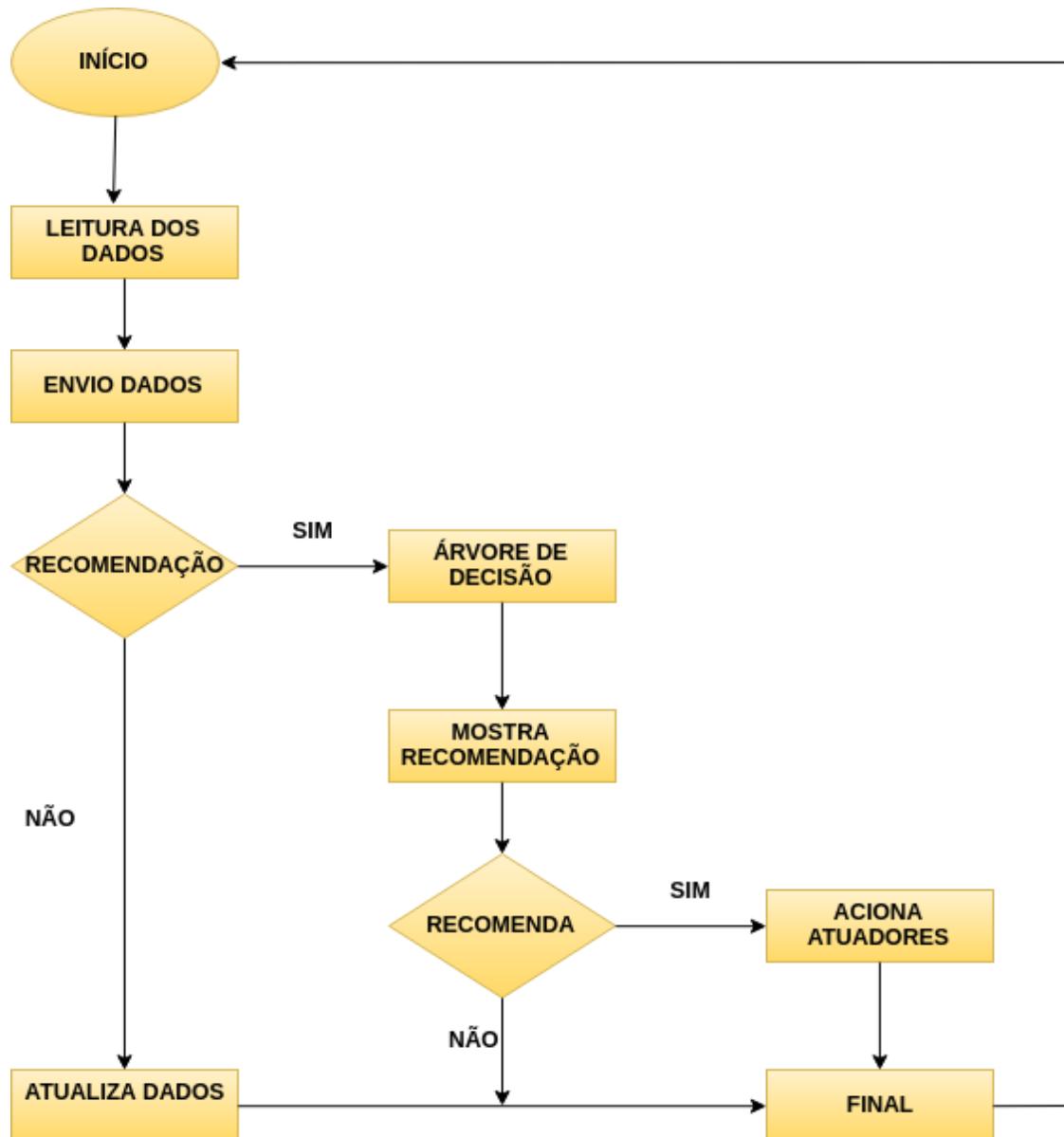
Fonte: Própria, 2018.

3.2 Diagrama

O fluxograma (Figura 25) exibe a forma como o sistema interpreta os dados, envia ao banco de dados e recomenda a irrigação, quando o usuário decide ser necessário. Inicia-se com a leitura dos dados nos sensores e o envio ao banco de dados. Assim, com os dados em análise é possível decidir se quer ou não realizar uma recomendação de irrigação. Caso negativo, os

dados são atualizados em um novo *loop* do algoritmo. Caso positivo, o sistema realiza os cálculos e, baseado na tabela de teste, recomenda a irrigação naquele momento. A partir da recomendação, cabe ao usuário tomar a decisão de irrigar ou não.

Figura 25 – Fluxograma Recomendação de Irrigação



Fonte: Própria, 2018.

3.3 Árvore de Decisão

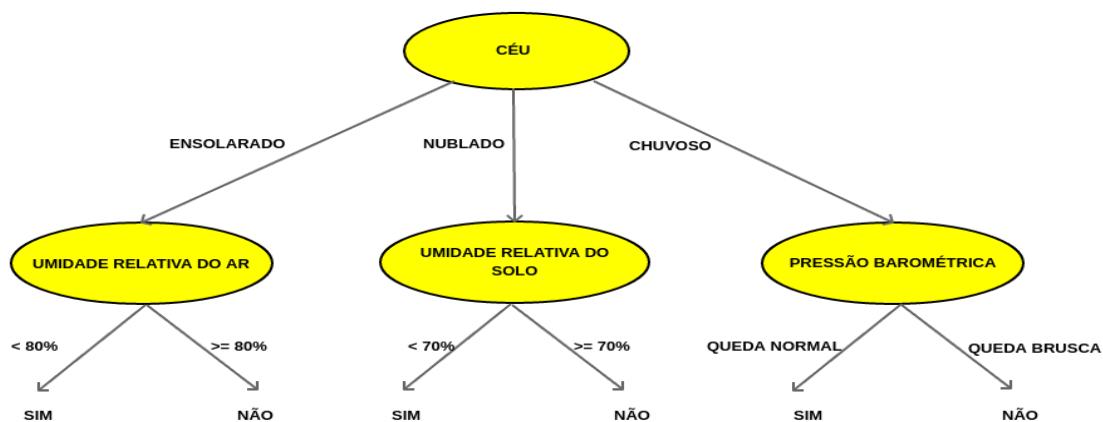
De acordo com as notas de aula do Prof. João Roberto Bertini Junior da FT/UNICAMP, árvore de decisão é uma representação de um conjunto de regras do tipo “se-então”, o que facilita sua interpretação para humanos em processos de tomada de decisão.

Ainda segundo o professor, geralmente, a árvore de decisão representa uma disjunção de conjunções (FND) de acordo com os valores instanciados. Assim, cada caminho que parte da raiz até o nó folha corresponde a uma conjunção de testes de atributos e a árvore, a uma disjunção destas conjunções.

De acordo com RUSSELL e NORVING (2006), árvores de decisão possuem a capacidade de aprendizagem, por sua indução e decisão de forma simplificada. Os dados de entrada geralmente são conjuntos de atributos e o retorno é uma decisão. Os valores podem ser discretos ou contínuos. Além disso, ao decorrer a análise dos dados de entrada a partir da árvore de decisão, ocorre uma classificação.

A árvore de decisão (Figura 26) inicia-se com o nó raiz no aspecto céu, que possui a classificação de ensolarado, nublado ou chuvoso. Também são atributos os dados de umidade relativa do ar, umidade relativa do solo e a pressão barométrica. Independente de cada ramo a explorar a árvore de decisão, a evapotranspiração da planta e a temperatura do ar sempre serão verificadas qualitativamente. Para a temperatura, o classificador será: ameno ou quente; e o classificador evapotranspiração será: pouco ou elevada.

Figura 26 – Árvore de Decisão



Fonte: Própria, 2018.

Também de acordo com as notas de aulas do professor João Roberto Bertini Junior,

utiliza-se o seguinte algoritmo geral para criar uma árvore de decisão:

1- Cria-se o nó raiz, atribuindo o conjunto de dados a este.

2- Seleciona-se o atributo que produz as melhores partições.

3- Adiciona-se um nó filho para cada novo particionamento.

3.1- Particione os dados em conjuntos mutualmente exclusivos, de acordo com o critério do nó pai.

3.2- Atribua cada conjunto a seu respectivo nó filho.

4- Repita os passos 2 e 3 para todo nó folha até que o critério de parada seja satisfeito.

Ex. nó dominado por uma única classe.

Seguindo tal algoritmo geral da árvore de decisão, podemos montar a seguinte tabela de treino:

Tabela 1 - Tabela de treino

CÉU	AR (%)	SOLO (%)	PRESSÃO	TEMP	EVAPO	DECISÃO
ENSOLARADO	>=80	>=70	QUEDA N.	AMENA	POUCO	NÃO
ENSOLARADO	<=80	>=70	QUEDA N.	AMENA	POUCO	NÃO
ENSOLARADO	<=80	<=70	QUEDA B.	AMENA	ELEVADA	NÃO
ENSOLARADO	<=80	<=70	QUEDA N.	ELEVADA	ELEVADA	SIM
NUBLADO	<=80	<=70	QUEDA N.	ELEVADA	ELEVADA	SIM
CHUVA	>=80	>=70	QUEDA B.	AMENA	POUCO	NÃO

Fonte: Própria, 2018.

De acordo com a linha 1 da Tabela 1, devido a umidade do ar ser maior ou igual 80% e a umidade do solo maior ou igual 70%, não há necessidade de irrigar, pois o solo está com umidade adequada. A situação da linha 2 difere da linha 1 apenas na umidade relativa do ar, abaixo de 80%, todavia o solo está com umidade acima de 70%, portanto não existe necessidade de irrigar.

De acordo com a tabela, podemos verificar que no terceiro teste (linha 3 da tabela de treino) é o momento ideal para esperar se vai chover ou não. Portanto, nesse momento o sistema irá recomendar que o horário em questão não é o melhor para irrigar, e sim para esperar de 30 a 60 minutos, realizar outra recomendação, verificar o resultado e então averiguar se é necessário realizar a irrigação. Se ocorrer chuva nesse período, não há necessidade de irrigação; caso contrário, há necessidade. Para a recomendação exata do

volume leva-se em consideração o tipo de planta, sua evapotranspiração, temperatura e umidade relativa do ar. Com temperatura alta e umidade relativa do ar baixa, há necessidade maior de volume de irrigação; já com a umidade relativa do ar alta e temperatura amena, há necessidade menor de volume de irrigação, pois tais fatores impactam de maneira significativa na evaporação da água no ambiente em questão. Foram utilizados três volumes de irrigação no protótipo, de 50 ml, 100 ml e 150 ml.

Segundo FREITAS (2008), a entropia de um conjunto pode ser definida como sendo o grau de pureza desse conjunto. Para a construção da árvore de decisão, foram usadas duas classes: irrigar ou não irrigar.

A explicação de FREITAS (2008) nos leva a um cenário em que, dado um conjunto S, com instâncias pertencentes à classe i, com probabilidade p_i , temos:

$$\text{Entropia (S)} = \sum p_i \log_2 p_i$$

A entropia é dada pelo desdobramento da equação acima, sendo que:

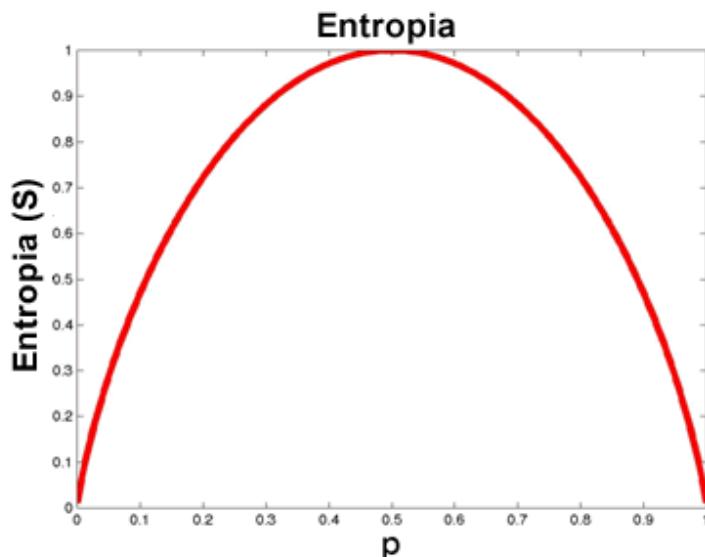
S é o conjunto de exemplo de treino;

p^+ é a porção de exemplos positivos;

p^- é a porção de exemplos negativos.

No caso em questão há duas possibilidades: irrigar (positivo, +) e não irrigar (negativo, -); portanto, o valor da entropia varia de acordo com o gráfico (Figura 27):

Figura 27 - Entropia



Fonte: FREITAS.

FREITAS (2008) diz que “ganho (S,A) significa a redução esperada na entropia de S, ordenando pelo atributo A. O ganho é dado pela seguinte equação:”

$$\text{Ganho}(S,A) = \text{Entropia}(S) - \sum (|S_v| / |S|) \cdot \text{Entropia}(S_v)$$

Assim, FREITAS (2008) relata que para escolher um atributo é usado o ganho. Em cada iteração do algoritmo é escolhido o atributo que apresente o maior ganho.

Para calcular o ganho, usam-se todos os atributos. Então, a Tabela 2 serve como modelo e suas colunas, como orientação. O início do cálculo dos atributos é da esquerda (atributo céu) para direita (com evapotranspiração como último atributo). A primeira iteração do algoritmo calcula a entropia dos dados com o dia ensolarado e o atributo umidade relativa do ar.

Tabela 2 - Cálculo da Entropia

E	S	POSITIVO	NEGATIVO
0,2764	GERAL	2	4
0,2764	UMIDADE ELEVADA AR	2	4
0,2764	UMIDADE NORMAL AR	4	2
GANHO (ENSOLARADO – UMIDADE RELATIVA DO AR (%))		0,8293	

Fonte: Própria, 2018.

Deve-se fazer o mesmo para todos os atributos e, assim, escolher o melhor. Portanto, segundo FREITAS (2008), o algoritmo pausa quando o resultado da entropia for nulo em todos os nós.

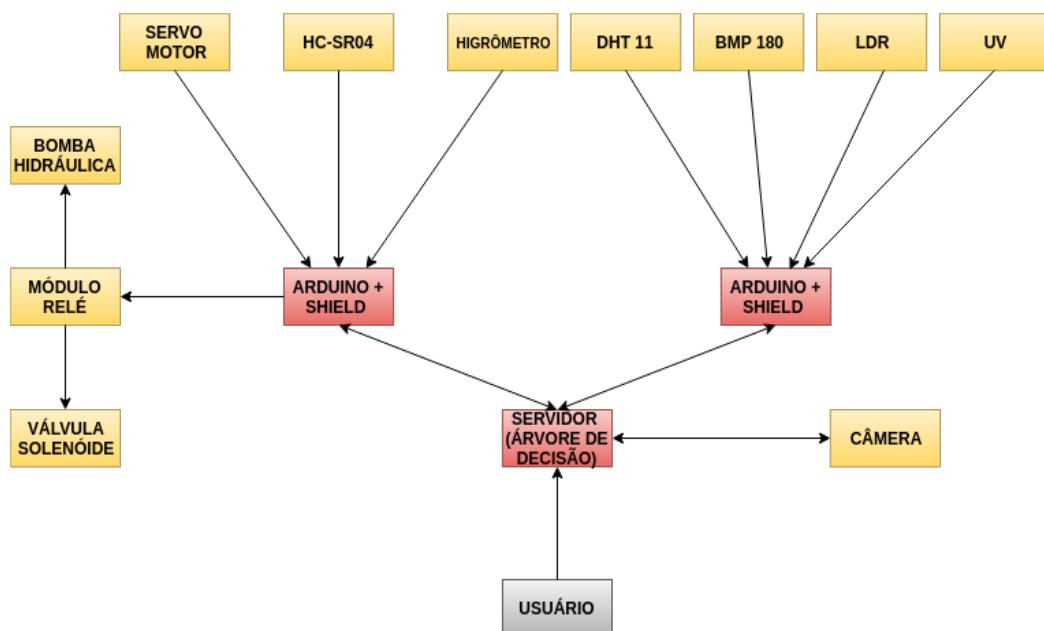
No sistema em questão, a recomendação é realizada usando a tabela de treino (Tabela 1) e, através das suas condições, o sistema fornece a recomendação.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do protótipo, foram utilizados dois Arduinos Uno, acoplados cada um com uma Ethernet Shield, a qual realiza a comunicação com a internet. Um Arduino foi acoplado ao sensor ultrassônico, o qual realiza a medição do nível de água no reservatório, também a seis sensores higrômetro, ao servo motor, ao módulo relé, que aciona os atuadores, à bomba hidráulica e à válvula solenóide. O segundo Arduino, foi acoplado aos sensores DHT 11, BMP 180, LDR (Resistor Dependente da Luz) e ao sensor UV. A câmera é conectada diretamente ao servidor com aplicação própria. A Figura 28 exibe o Diagrama Geral da forma em que o sistema foi montando.

Figura 28 - Diagrama Geral



Fonte: Própria, 2018.

As setas unidirecionais indicam, no caso dos sensores, que os dados são enviados dos sensores ao Arduino. No caso do módulo relé, as setas indicam que o acionamento ocorre do Arduino para o módulo relé, que, por sua vez, muda o estado dos atuadores.

As setas bidirecionais, entre o Arduino e o servidor, significam que o servidor tanto recebe dados do Arduino e como envia dados ao microcontrolador. A câmera também funciona de modo semelhante, todavia conectada direto ao servidor com aplicação própria, correspondente ao modelo da mesma. A árvore de decisão é processada pelo servidor.

O microcontrolador Arduino é uma ferramenta ideal para prototipação com baixo

custo monetário. SILVA, CAVALCANTE, CAMILO ET AL. (2014) averiguaram que “o conceito Arduino surgiu na Itália no ano de 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos com menor custo que outras plataformas disponíveis no mercado. A plataforma Arduino é do tipo *open-source*, baseada em *hardware* e *software* destinados às áreas de automação e robótica”.

Nesse mesmo trabalho, os autores acrescentam que “na placa pode-se adicionar diversos tipos de componentes eletrônicos direcionados e programados para uma determinada atividade. Tal plataforma usa um Microcontrolador ATMEGA (chip controlador gravável) com a função de receber e entregar o fluxo de informações de maneira controlada por uso de *software*”.

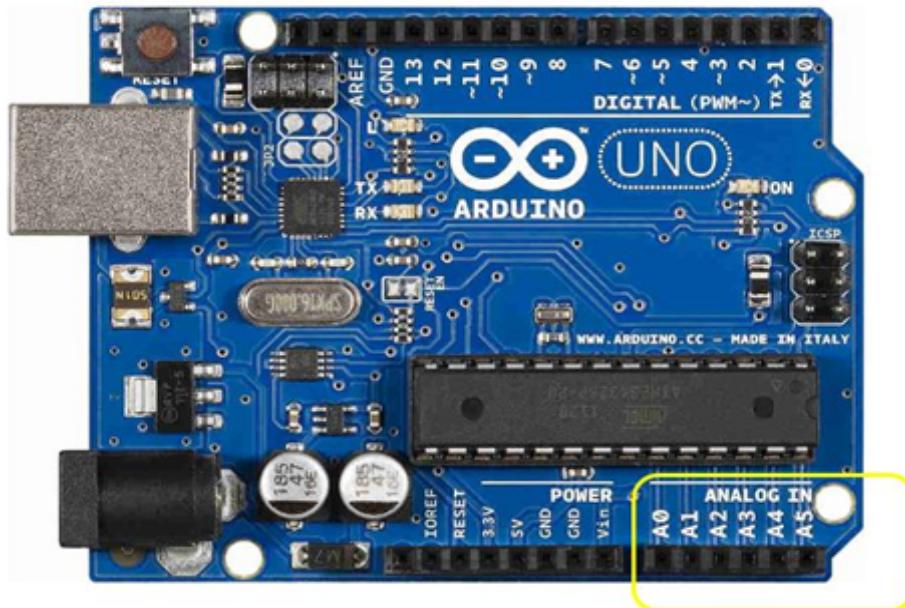
A plataforma Arduino permite a prototipagem de projetos variados. O diálogo entre a abordagem eletrônica e a computacional é simples e objetivo, sendo ideal para qualquer tipo de usuário; todavia, é necessário um conhecimento na linguagem de programação C.

Existem diversos fatores que tornam atrativo o uso do Arduino; entre eles, pode-se destacar o valor relativamente baixo, a fácil manipulação, o rápido aprendizado, a grande quantidade de material disponível para estudo e sua abrangente aplicabilidade com os mais diversos sensores e projetos.

4.1 Entrada e saída analógica

O Arduino UNO, usado no desenvolvimento do trabalho, possui seis portas de entrada e saída analógicas. Nessas portas, é realizada a leitura de sinais de sensores analógicos. Por exemplo, o sensor de umidade relativa do solo utiliza a porta analógica. A identificação das portas é feita com a letra “A” maiúscula seguido do número correspondente da porta. A numeração da porta analógica inicia no número 0 e termina no número 5, conforme mostrado na (Figura 29):

Figura 29 – Entradas Analógicas



Fonte: Embarcados

4.2 Entrada e saída digital

Outro conjunto de portas são as digitais. Nessas entradas, são conectados sensores que operam com sinal digital como, por exemplo, o diodo emissor de luz, popularmente conhecido como LED. A variação de voltagem das entradas digitais é 0v ou 5v; esse tipo de porta opera apenas nesses estados. O Arduino possui 14 portas digitais com a numeração de 0 a 13, conforme a Figura 30.

Figura 30 – Entradas Digitais



Fonte: Embarcados

4.3 Comunicação *universal serial bus* (USB)

Uma forma prática de ligar o Arduino ao computador é através da porta USB (Figura 32). Quando o Arduino é acoplado à porta, a mesma é responsável pela transmissão de dados entre o microcontrolador e o computador. A porta USB também fornece uma voltagem de 5v para alimentação do Arduino com energia elétrica. O Arduino pode ainda ser alimentado por conector de entrada Jack; nessa opção, a variação de tensão pode oscilar de 5v até 21v, pois existe um regulador de tensão no circuito do Arduino. Nesse caso, é necessário o uso de uma fonte.

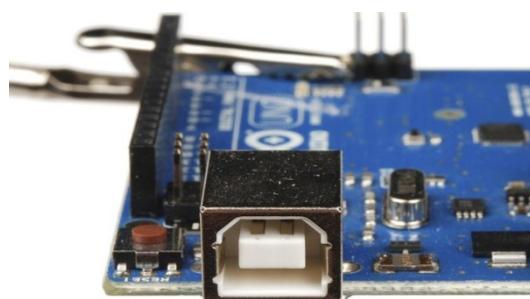
Segundo SOUZA (2013), quando o cabo USB é plugado a um PC, por exemplo, a tensão não precisa ser estabilizada pelo regulador de tensão. Dessa forma a placa é alimentada diretamente pela USB. O circuito da USB apresenta alguns componentes que protegem a porta USB do computador em caso de alguma anormalidade. Na Figura 7 é exibido o circuito de proteção da USB da placa Arduino UNO. Na Figura 31, pode-se observar a conexão USB.

Figura 31 – Conector de Entrada Jack



Fonte: Embarcados

Figura 32 – Conector USB



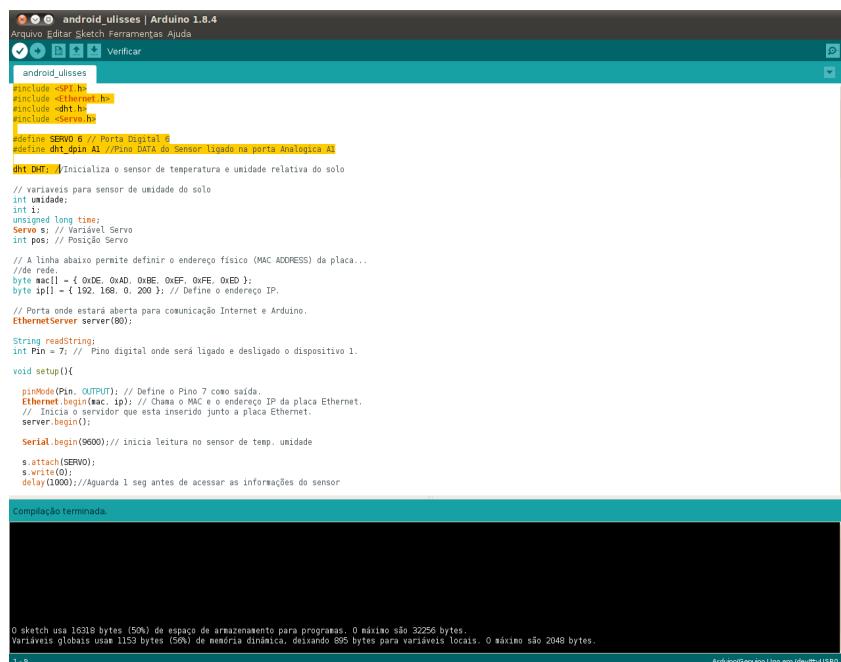
Fonte: Embarcados

4.4 IDE e a interface de programação

A interface de programação permite o envio do código de programação ao microcontrolador. Na interface gráfica também há outras configurações importantes, como importação de bibliotecas para sensores, configuração das portas USB para a correta comunicação, visualização de gráficos e dados dos sensores, compilação dos códigos em linguagem C e um menu de ajuda para dúvidas.

A interface (Figura 33) possui aparência elegante e intuitiva, características importantes para a aprendizagem e familiaridade com o Arduino.

Figura 33 – Interface Gráfica Arduino



```
android_ullises | Arduino 1.8.4
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
android_ullises
#include <Servo.h>
#include <Ethernet.h>
#include <DHT.h>
#include <Servo.h>

#define SERVO 6 // Porta Digital
#define dht_dpin A1 //Pino DATA do Sensor ligado na porta Analógica A1
DHT DHT11; // Inicializa o sensor de temperatura e umidade relativa do solo

// variáveis para sensor de umidade do solo
int umidade;
int i;
unsigned long time;
Servo s; // Variável Servo
int pos; // Posição Servo

// A linha abaixo permite definir o endereço físico (MAC ADDRESS) da placa...
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
byte ip[] = { 192, 168, 0, 200 }; // Define o endereço IP.

// Porta onde estará aberta para comunicação Internet e Arduino.
EthernetServer server(80);

String readString;
int Pin = 7; // Pino digital onde será ligado e desligado o dispositivo 1.

void setup()
{
  pinMode(Pin, OUTPUT); // Define o Pino 7 como saída.
  Ethernet.begin(mac, ip); // Chama o MAC e o endereço IP da placa Ethernet.
  // Inicia o servidor que está inserido junto a placa Ethernet.
  server.begin();
}

Serial.begin(9600); // inicia leitura no sensor de temp. umidade
s.attach(SERVO);
s.write(0);
delay(1000); //Aguarda 1 seg antes de acessar as informações do sensor

Compilação terminada.

0 sketch usa 16318 bytes (50%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 32256 bytes.
Variáveis globais usam 1153 bytes (50%) de memória dinâmica, deixando 895 bytes para variáveis locais. O máximo são 2048 bytes.
```

Fonte: Própria, 2018.

4.5 Sensores

4.5.1 Higrômetro

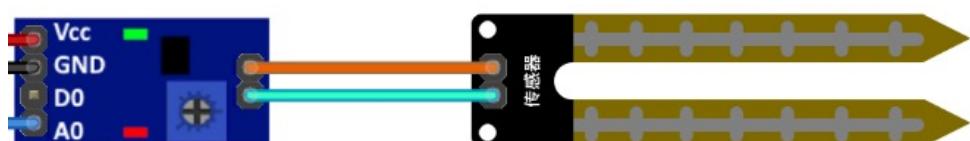
O sensor que realiza a medição da umidade relativa do solo é o higrômetro (Figura 34). Tal sensor é ligado à porta analógica do Arduino e fornece um valor em estado alto quando está seco e em estado baixo quando está úmido. Também, pode-se acoplar o sensor em uma saída digital e ajustar seu funcionamento com o uso de um potenciômetro. Foi utilizada uma biblioteca que converte tal valor para porcentagem, o que facilita a leitura e interpretação dos dados.

A calibração foi realizada em dois cenários. O sensor foi mergulhado em uma situação

de saturação hídrica (com água) e, em seguida, foi anotado o valor. Outro extremo é secar o sensor e fazer a medição dessa situação. A leitura dessa parte fornece o valor da porta analógica do Arduino, que oscila entre 0 e 1.023. Dessa forma, o intervalo máximo e mínimo das medidas do sensor é interpolado numa escala de 0% até 100%, que corresponde à leitura em percentual. O sensor também possui um chip comparador LM393, que interpreta se o sinal é analógico ou digital. O higrômetro é caracterizado como um sensor resistivo, pois sua leitura é realizada de acordo com a resistência elétrica na sonda.

Com a utilização do sensor foi possível verificar as oscilações de umidade no solo.

Figura 34 - Higrômetro



Fonte: BERTOLETI, 2016

Especificações:

- Tensão de Operação: 3,3-5v
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Led indicador para tensão (vermelho)
- Led indicador para saída digital (verde)
- Comparador LM393
- Dimensões PCB: 3×1,5 cm
- Dimensões Sonda: 6×2 cm
- Comprimento Cabo: 21 cm

Pinagem:

- VCC: 3,3-5v
- GND: GND
- D0: Saída Digital

- A0: Saída analógica

4.5.2 Temperatura e umidade relativa do ar

O sensor utilizado para aferir a temperatura e umidade relativa do ar chama-se DT11 (Figura 35). Ele permite a leitura de temperatura em graus Celsius e de umidade relativa do ar em percentual. O sensor foi ligado a uma porta analógica do Arduino Uno.

O sensor tem um elemento resistivo, um termistor e possui uma integração ao chip, que permite sua conexão direta ao Arduino Uno.

A calibração foi realizada comparando os valores obtidos com valores reais durante as medições. Durante essas comparações, apenas a umidade relativa do ar apresentou discrepância.

Figura 35 – Sensor DT11



Fonte: Própria, 2018.

Especificações:

- Faixa de medição de umidade: 20 a 90% UR
- Faixa de medição de temperatura: 0° a 50° C
- Alimentação: 3-5VDC (5,5VDC máximo)
- Corrente: 200uA a 500mA, em *stand by* de 100uA a 150 Ua
- Precisão de umidade de medição: ± 5,0% UR
- Precisão de medição de temperatura: ± 2,0° C
- Tempo de resposta: 2s
- Dimensões: 23 x 12 x 5mm (incluindo terminais)

4.5.3 Pressão barométrica

A pressão barométrica (pressão atmosférica) é um dado importante para a tomada de decisão sobre qual o melhor horário irrigar. O sensor em questão (Figura 36) também é capaz de aferir a temperatura e de obter o valor da pressão barométrica. O sensor possui calibração de fábrica e qualquer ajuste é realizado via biblioteca ou pela própria linguagem de programação.

Figura 36 – Sensor BMP180



Fonte: Própria, 2018.

Especificações:

- Tensão de Operação: 1,8v a 3,6v
- Regulador de tensão: 5V

A conexão ao Arduino utiliza a interface I2C, por meio dos pinos analógicos (SDA) e (SCL). O módulo possui cinco pinos: VCC (1,8 a 3,6V), GND, SDA, SCL e 3,3V.

4.5.4 LDR (Light Dependent Resistor)

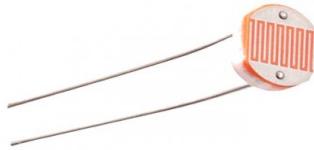
Segundo JUNIOR, J. e JUNIOR S. (2013), o LDR, Resistor Dependente da Luz (Figura 37) é um dispositivo semicondutor eletrônico com dois terminais e a característica de possuir resistência variável de acordo com a quantidade de luz incidente sobre ele. JUNIOR, J. e JUNIOR S. (2013) ressalta que, o funcionamento do sensor é explicado pelo efeito fotoelétrico: elementos condutores (na teoria eletrostática) possuem diferença energética entre a banda de valência e a banda de condução quase nula (sem oferecer obstáculos à passagem de corrente) e materiais isolantes se comportam de maneira inversa (diferença energética

muito grande); os semicondutores, por sua vez, têm a diferença de energia entre o valor dos condutores e dos isolantes e necessitam de alguma força externa, como a luminosidade e a temperatura, para conduzir corrente elétrica. Quando o LDR é exposto a um feixe luminoso, começa a dispor de elétrons livres, fazendo sua resistência diminuir; reduzindo o feixe luminoso, começa a faltar elétrons livres, aumentando a resistência do mesmo. O sensor possui um comportamento não ôhmico, ou seja, sua curva de resistência por intensidade luminosa não apresenta comportamento linear.

O LDR é ligado em uma porta analógica e também é adicionado ao circuito um divisor de tensão, para assegurar uma leitura correta do sensor. O sinal gerado pelo o sensor oscila entre 0 até 1.023, quando conectado à porta analógica. Após a montagem do circuito, foram realizados testes na situação de ausência de luz e com a intensidade de luz forte, deste modo sendo possível realizar uma correta calibração do sensor.

Sua importância no desenvolvimento da aplicação deve-se ao fato de que o comportamento do sensor permite verificar se o dia está ensolarado ou nublado.

Figura 37 – Resistor LDR



Fonte: Própria, 2018.

4.5.5 Ultravioleta UV

O sensor de raio Ultravioleta UV (Figura 38) detecta a radiação solar UV através de um chip UVM-30A. Pode ser usado para projetos com Arduino para monitorar UV Index, analisar UV-A de lâmpadas e também fazer a análise de crescimento de plantas.

O sensor possui capacidade para detectar raios UV entre o tamanho da onda 200-370 nm e a tensão de operação de 3-5V, o que permite que seja conectado a outros controladores.

Figura 37 – Sensor UV



Fonte: THOMSEN, 2015.

Especificações:

- Chip: UVM-30^a
- Tensão de operação: 3-5V
- Tensão de saída: 0-1V (correspondente a 0-10 INDEX)
- Exatidão: $\pm 1\text{UV INDEX}$
- Corrente padrão: 0,06mA
- Tamanho de onda UV: 200-370nm
- Tempo de resposta: <0,5s
- Temperatura de trabalho: -20 a +85°C
- Dimensões: 27 x 22mm

O sensor possui três pinos, VCC, GND e dados, que é ligado a uma porta analógica do Arduino Uno.

Tabela 3 - Índice UV

UV Index (Índice UV)	0	1	2	3	4	5
Vout(mV)	<50	227	318	408	503	606
Valor analógico	<10	46	65	83	103	124
UV Index (Índice UV)	6	7	8	9	10	11 ⁺
Vout(mV)	696	795	881	976	1079	1170+
Valor analógico	142	162	180	200	221	240

Fonte: THOMSEN, 2015.

A Leitura dos dados de UV deve seguir a tabela acima (Tabela 3) para realizar a conversão correta dos parâmetros de medição.

4.5.6 Sensor ultrassônico

Na figura 38, é mostrado sensor ultrassônico, que é usado para o controle de volume. Seu funcionamento consiste em emitir um pulso ultrassônico sequencial e receber a reflexão do pulso. A partir do tempo calculado de ida e volta dos pulsos, é possível estimar a distância do sensor ao anteparo; nesse caso, o nível de água no reservatório cilíndrico é o anteparo. A medição do nível de água permite indiretamente calcular o volume e controlar os níveis de irrigação.

O cálculo do volume é realizado de forma indireta. O sensor ultrassônico localizado na tampa do reservatório (Figura 41) realiza a leitura do nível de água até a localização do sensor. As medidas da altura e do raio do reservatório são conhecidas, dessa forma pode-se usar a fórmula: Área da Base vezes Valor da Altura. A altura é a subtração do valor da altura do cilindro pelo valor da leitura do sensor. A Figura 42 mostra a situação da montagem do sensor, localizado na tampa do reservatório.

Figura 38 - Sensor Ultrassônico HC-SR04



Fonte: Embarcados

Especificações:

- Alimentação: 5V DC
- Corrente de Operação: 2mA
- Ângulo de efeito: 15°
- Alcance: 2cm ~ 4m
- Precisão: 3

4.5.7 Câmera IP

Para a observação das plantas foi utilizada uma câmera IP conforme a foto abaixo (Figura 39):

Figura 39 - Câmera IP



Fonte: Própria

4.5.8 Shield Ethernet

Os dados são coletados pelos sensores e acessados via rede de comunicação, pois a *Shield Ethernet* (Figura 40) permite a conexão do microcontrolador com a rede de internet, bem como o envio dos dados para o banco de dados. Esse acessório é acoplado em cima do Arduino e permite a conexão de uma cabo de rede, que conecta o Arduino à internet.

Figura 40 - Shield Ethernet



Fonte: Embarcados

4.6 Linguagem HTML, CSS, Java Script e PHP

O desenvolvimento do protótipo foi realizado com a linguagem *Hyper Text Markup Language* (HTML), a qual define o *layout/interface* da página *WEB*. A linguagem *Cascading Style Sheets* (CSS) é utilizada para o tratamento gráfico das fontes, cores e formatação do *layout* e tabelas em HTML. Assim, uma configuração adequada do CSS é útil para uma boa visualização da página e facilita a interpretação dos dados. A linguagem *Java Script* foi utilizada para tratar os dados, efetuar cálculos na máquina local do usuário e realizar a recomendação da irrigação. Para receber os dados dos sensores e executar consultas ao banco de dados, utilizou-se a linguagem *Hypertext Preprocessor* (PHP). Outra característica da linguagem PHP é a capacidade de fornecer dinamismo na página *WEB*. Códigos SQL são usados para execução de buscas à base de dados, incorporados no código PHP. A comunicação entre banco de dados e protótipo é efetuada com a relação harmônica dessas linguagens.

4.7 Banco de dados

Segundo GUIMARÃES (2003), banco de dados ou base de dados (BD) é uma coleção de dados ou informações relacionadas. São representações do mundo real, com significado próprio, onde seu armazenamento é importante para o futuro.

Para tanto, foi utilizado um SGBD MySQL e a interface gráfica phpMyAdmin, ferramenta que inclui o banco de dados e o servidor apache, com função de armazenar os dados dos sensores e os estados dos atuadores do protótipo. As informações registradas na base de dados podem auxiliar em diversas observações das relações solo-planta-atmosfera e do comportamento da umidade relativa do solo, de acordo com as variações ambientais. Logo, a consistência dos dados é imprescindível para a tomada de decisão sobre a irrigação. O banco de dados e toda sua coleção de dados possuem uma importância crucial para observações futuras e comparações com dados anteriores. Para facilitar a instalação deve-se utilizar o pacote XAMPP, que integra todos os componentes necessários para um correto funcionamento do banco de dados. Os dados coletados pelos os sensores são armazenados ao banco de dados, conforme a leitura dos sensores.

4.8 Árvore de decisão (estrutura de dados)

A estrutura de dados utilizada para recomendar a irrigação, de acordo com a análise dos dados, será um grafo conhecido como Árvore de Decisão.

Para RUSSELL e NORVIG (2004), uma árvore de decisão recebe como entrada objetos ou situações descritas por conjunto de atributos e retorna uma decisão. A decisão é tomada após uma sequência de testes dentro dos percursos da árvore.

De acordo com SOLANGE (2005), uma árvore de decisão é uma estrutura de dados definida recursivamente, de modo que um nó folha corresponde a uma classe e um nó decisão contém testes sobre algum atributo. Para cada teste, existe uma aresta para uma subárvore. Assim, uma árvore pode ser representada por conjuntos de regras disjuntas.

Portanto, através da análise de umidade do solo, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, horário e outras variáveis ambientais, é possível percorrer a árvore para obter uma decisão referente ao volume e horário corretos para irrigar.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

Os resultados apresentados tratam da calibração do sensor ultrassônico, do gráfico do mesmo sensor (referente ao tempo de abertura da válvula) e do cálculo indireto do volume. Abordam ainda os resultados das leituras do sensor higrômetro e as avarias que ocorreram ao longo do desenvolvimento do protótipo. Também estão incluídos gráficos referentes aos sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão barométrica, UV, LDR e os custos de compra dos equipamentos.

5.1 Sensor Ultrassônico e Calibração

Foram realizadas 100 medições com uma leitura aproximada de 29 cm, a qual se refere à altura do reservatório que armazena a água para irrigação. O reservatório possui formato cilíndrico com diâmetro de 9,5 cm. A Tabela 4 é resultado da calibração do sensor.

Tabela 4 - Medições da altura do reservatório e Calibração do sensor

MÉDIA	SOMATÓRIO VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO	VALOR
28,89 cm	4,74	0,2	28,89 + - 0,2

Fonte: Própria, 2018.

Figura 41 - Sensor Ultrassônico instalado na tampa do reservatório



Fonte: Própria, 2018.

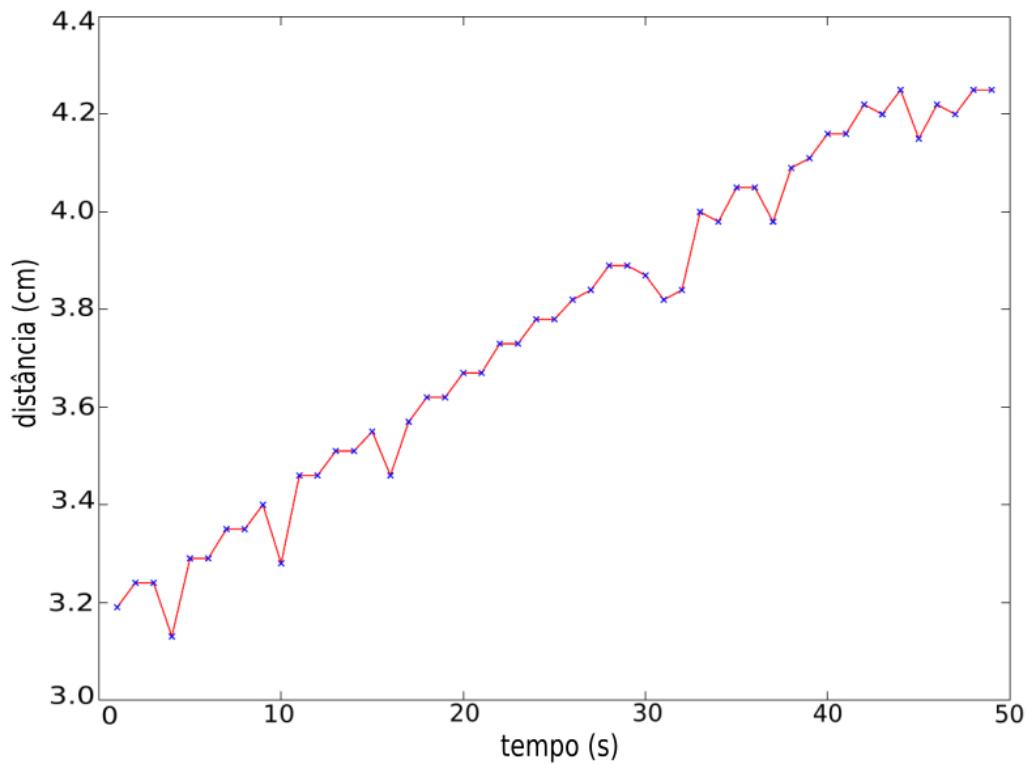
Figura 42 - Sensor realizando a medição do volume



Fonte: Própria, 2018.

Também foi possível obter o gráfico com a variação da leitura do sensor (Figura 43) e a variação de volume (Figura 44) durante a abertura da válvula.

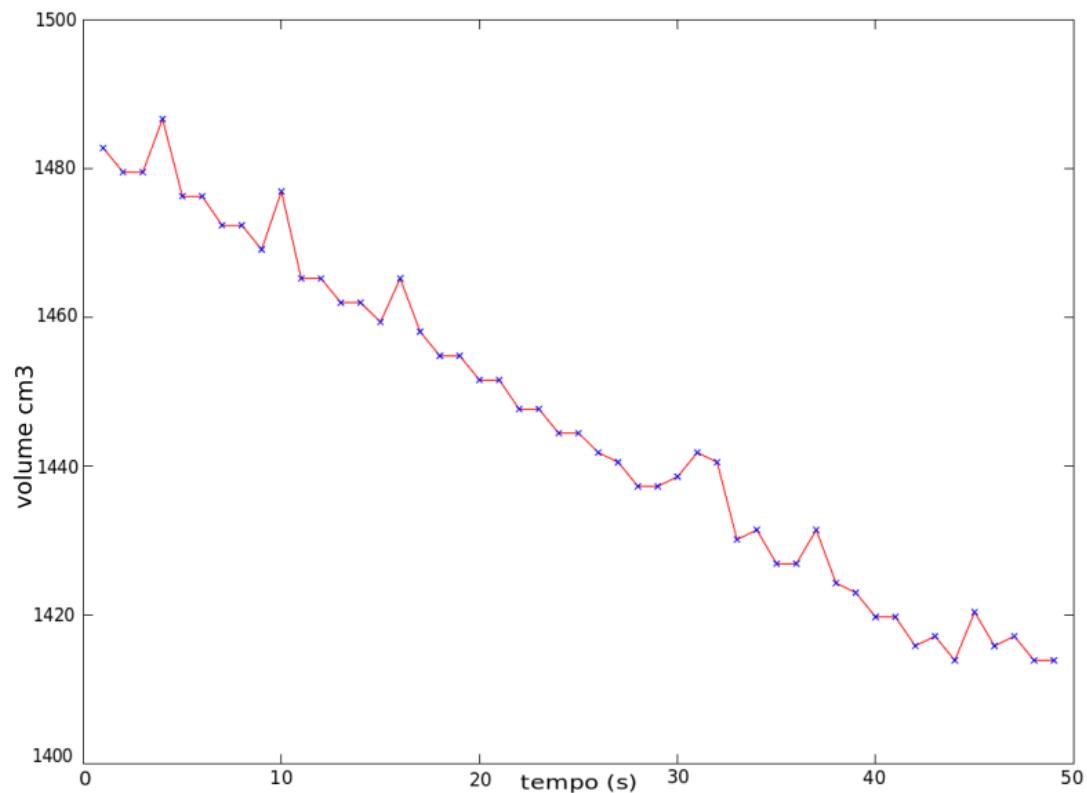
Figura 43 - Gráfico Distância Sensor (cm) x Tempo (s)



Fonte: Própria, 2018.

Outro gráfico, calculado de forma indireta, é a variação do volume (Figura 44); durante a abertura da válvula, o volume diminui.

Figura 44 - Gráfico Volume (cm³) x Tempo (s)



Fonte: Própria, 2018.

5.2 Sensor Higrômetro

O Sensor Higrômetro (Figura 45) fornece um sinal analógico que é lido por uma porta analógica do Arduino. A variação do valor deste sinal é de 0 a 1.023. Todavia, o sinal em condições reais não segue esse parâmetro e varia. As causas dessa variação estão ligadas a alguma alteração no funcionamento do sensor; no caso do desenvolvimento do protótipo, foi devido à oxidação dos sensores e, consequentemente, à variação na leitura.

Figura 45 - Sensor Higrômetro oxidado x novo



Fonte: Própria, 2018.

A partir dos dados coletados foi possível construir os gráficos da variação de umidade do solo.

Na (Figura) 46 pode-se observar os dados de umidade relativa do solo, armazenados

no banco de dados e também os dados de leitura do sensor ultrassônico, que representa o nível da altura do fluido.

Figura 46 - Dados do Sensor de umidade relativa do solo e do Sensor Ultrassônico

`SELECT * FROM `tabelaarduino``

Perfil [Editar em linha] [Editar] [Demonstrar SQL] [Criar código PHP] [Atualizar]

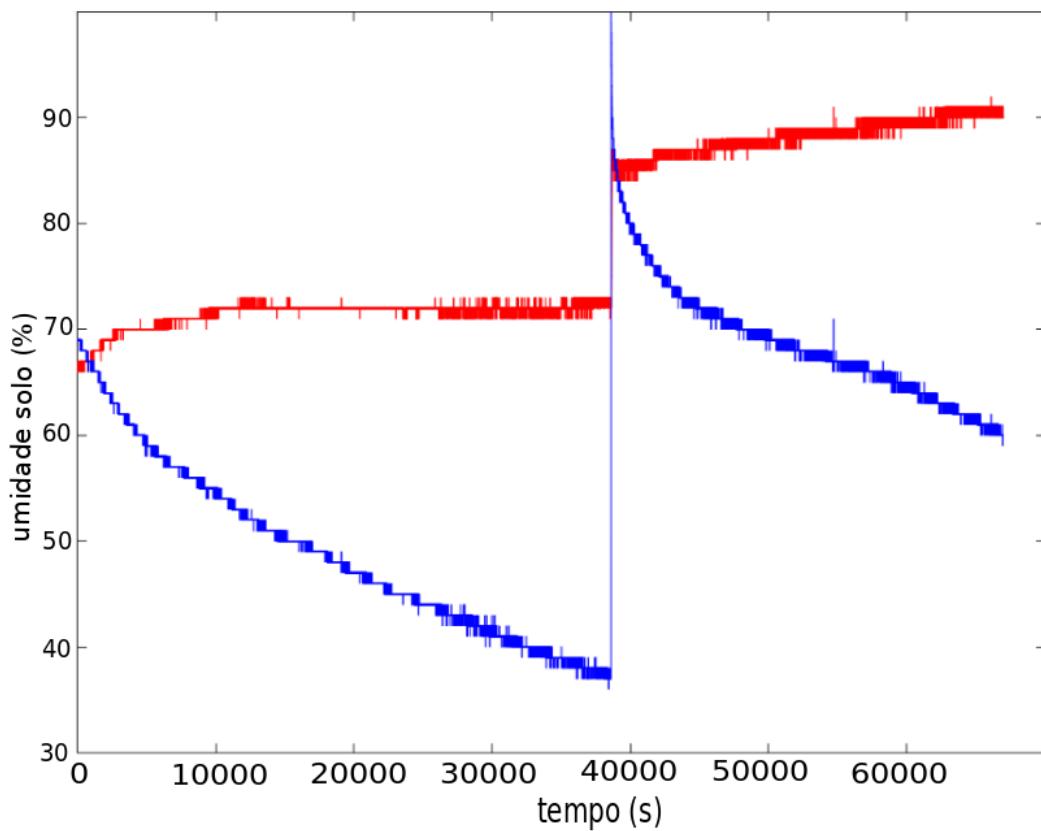
1 ▾ > >> | Mostrar tudo | Número de linhas: 25 ▾ Filtrar linhas: Procurar nesta tabela

+ Opções

umidade1	umidade2	umidade3	umidade4	umidade5	umidade6	cmMsec
1023	1022	752	634	936	981	
1023	1022	752	634	936	981	
1023	1022	741	618	956	1023	5.48
1023	1023	712	504	118	18	5.48
1020	1019	734	607	954	1023	5.38
1022	1023	714	507	128	43	5.48
1022	1023	714	507	128	43	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	713	506	129	48	5.48
1023	1022	739	614	949	1020	6.14
1022	1023	715	509	113	0	173.1
1023	1021	712	505	125	29	174.1
1023	1021	719	516	115	0	173.6
1023	1023	715	520	265	220	173.7
1023	1023	748	607	664	680	173.2
1022	1023	751	632	945	1023	174.6
1022	1021	710	505	146	75	173.5
1022	1023	712	505	120	26	173.1

Fonte: Própria, 2018.

Figura 47 - Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Amostra coletada a cada 2s

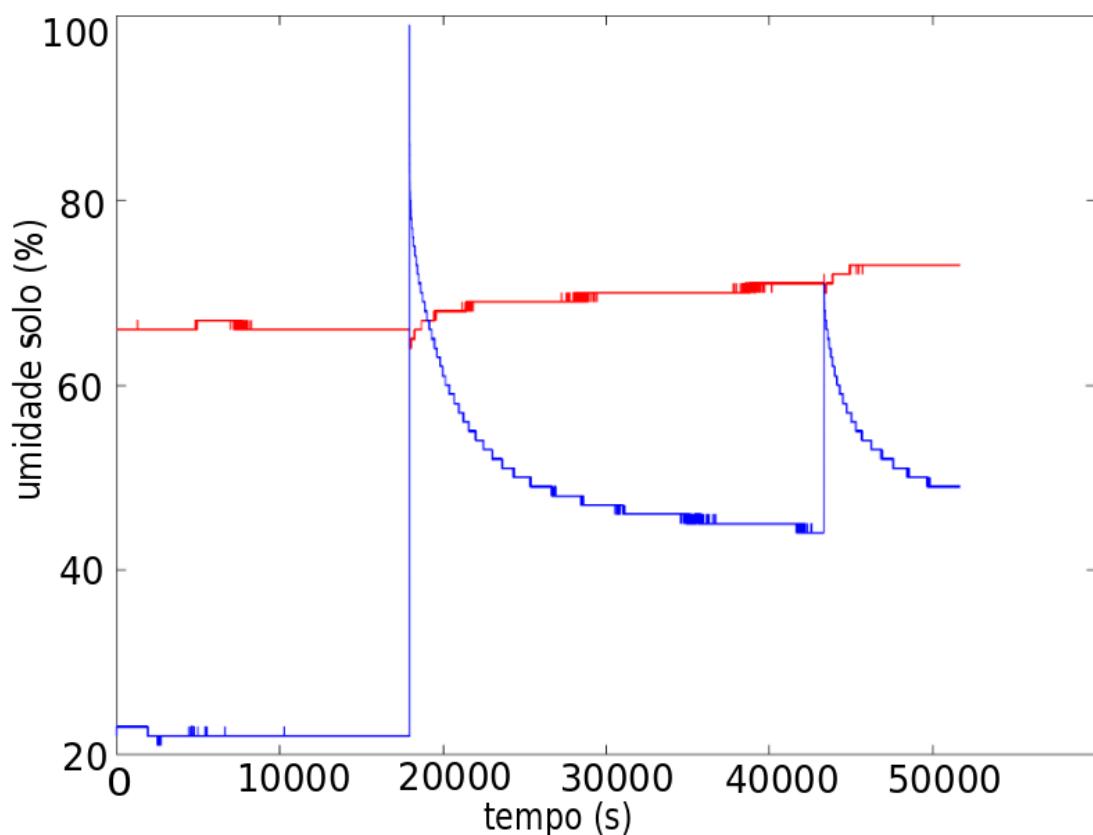


Fonte: Própria, 2018.

Acima (Figura 47), a curva vermelha representa o sensor posicionado na parte inferior e a curva azul, na parte superior do vaso com boldo. Nota-se que, conforme decai a umidade na parte superior do vaso, ocorre um aumento na parte inferior, evidenciando a percolação da água pelo solo. O pico presente no gráfico é momento de irrigação manual, nesse caso, com volume de 150 ml.

Abaixo (Figura 48), pode-se observar os valores do outro vaso com a planta boldo com picos de irrigação manual de 150 ml e 50 ml:

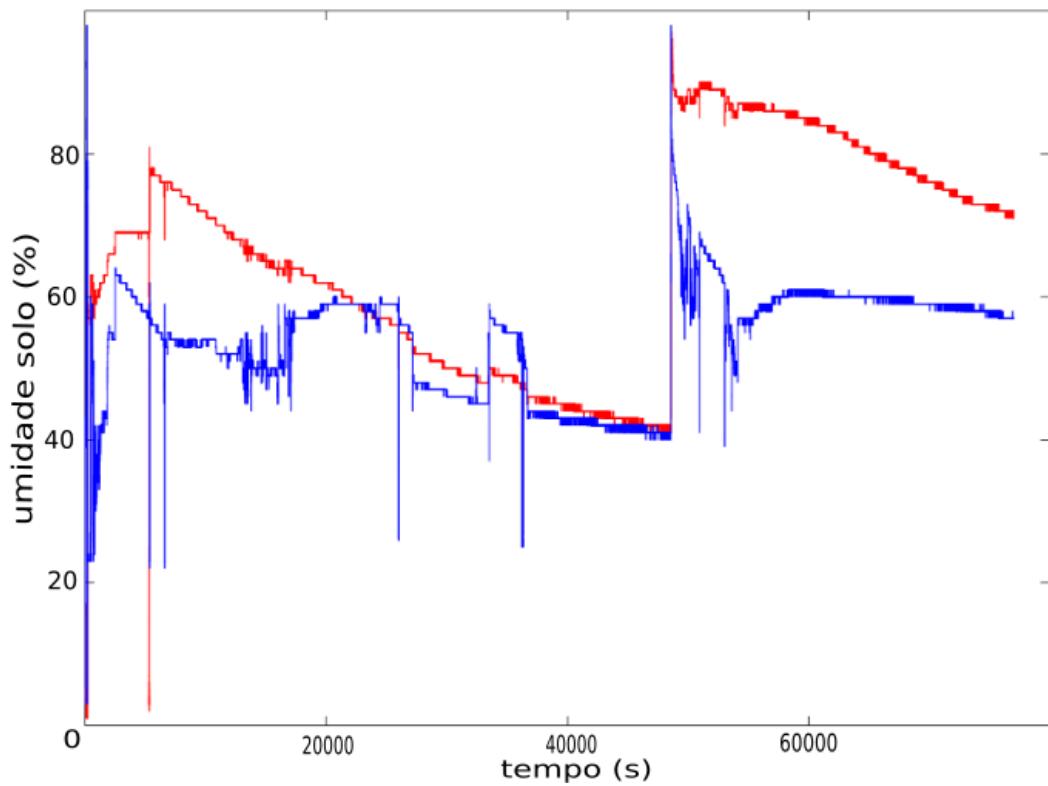
Figura 48 - Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s)



Fonte: Própria, 2018.

Entretanto, o mesmo comportamento não ocorreu com a segunda planta, popularmente conhecida como “Suculenta”, que tem por características reter água e apresentar baixa evapotranspiração. Os gráficos a seguir (Figuras 49 e 50) mostram o comportamento do segundo teste.

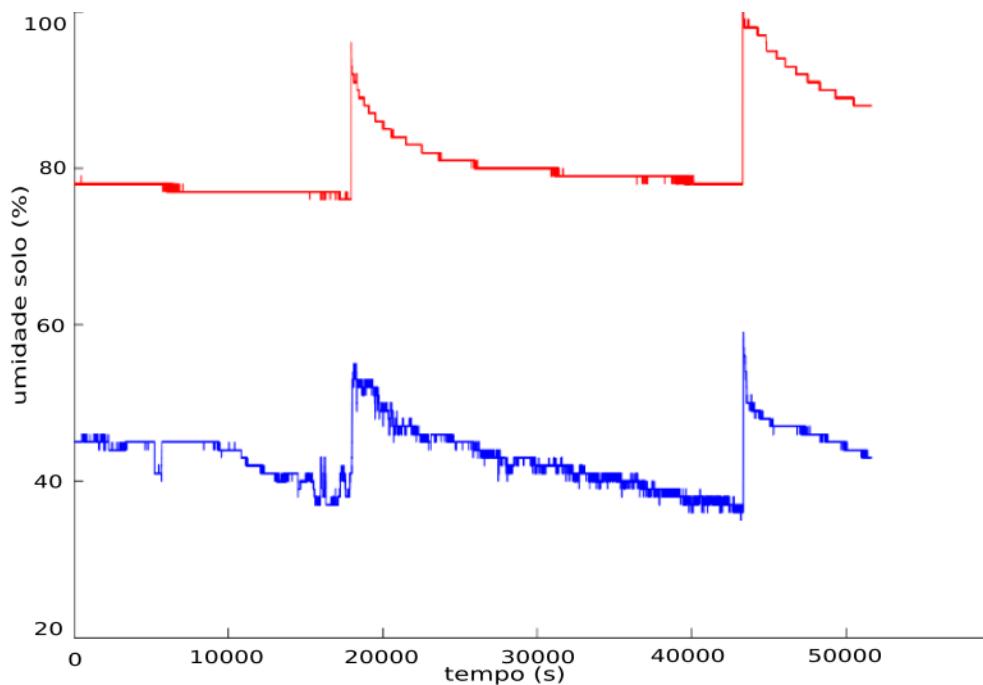
Figura 49 - Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s)



Fonte: Própria, 2018.

O gráfico da (Figura 49) possui oscilações que podem ser resultantes do ajuste manual do sensor, causando a discrepância dos dados obtidos.

Figura 50 - Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo (s)

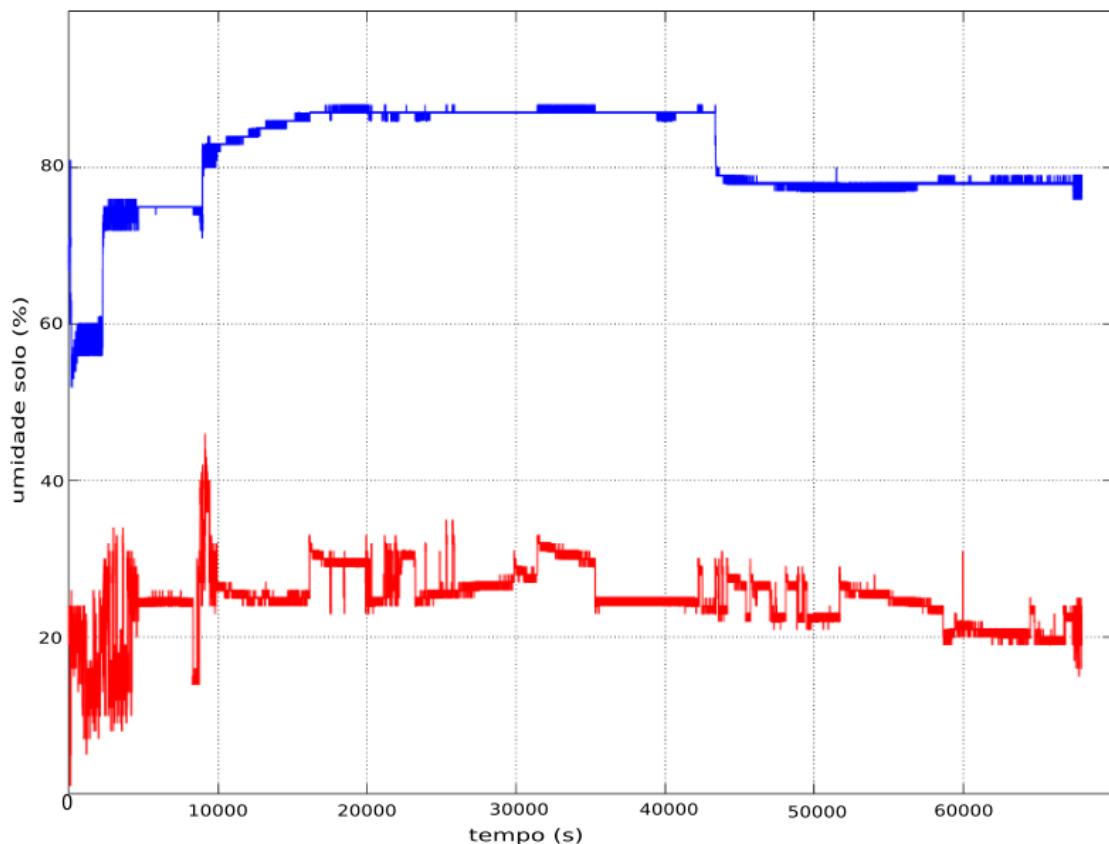


Fonte: Própria, 2018.

Os gráficos mostram os dados coletados com comportamento diferente em relação ao boldo. Na curva vermelha, podemos observar o sensor superior e na curva azul, o sensor inferior do vaso com a planta ornamental (Figura 50). Todavia, a percolação de água no solo é diferente do vaso que estava com o boldo. Entre os fatores que podem causar esse acontecimento, vale destacar o tamanho e forma das raízes, a diferença de evapotranspiração entre as plantas e até mesmo a geometria do formato das folhas que, por sua vez, interfere na forma que a água infiltra no solo.

Também foi avaliado o comportamento dos vasos com apenas terra, ou seja, ausência de qualquer planta. (Figura 51)

Figura 51 - Gráfico Umidade Relativa do Solo (%) x Tempo S



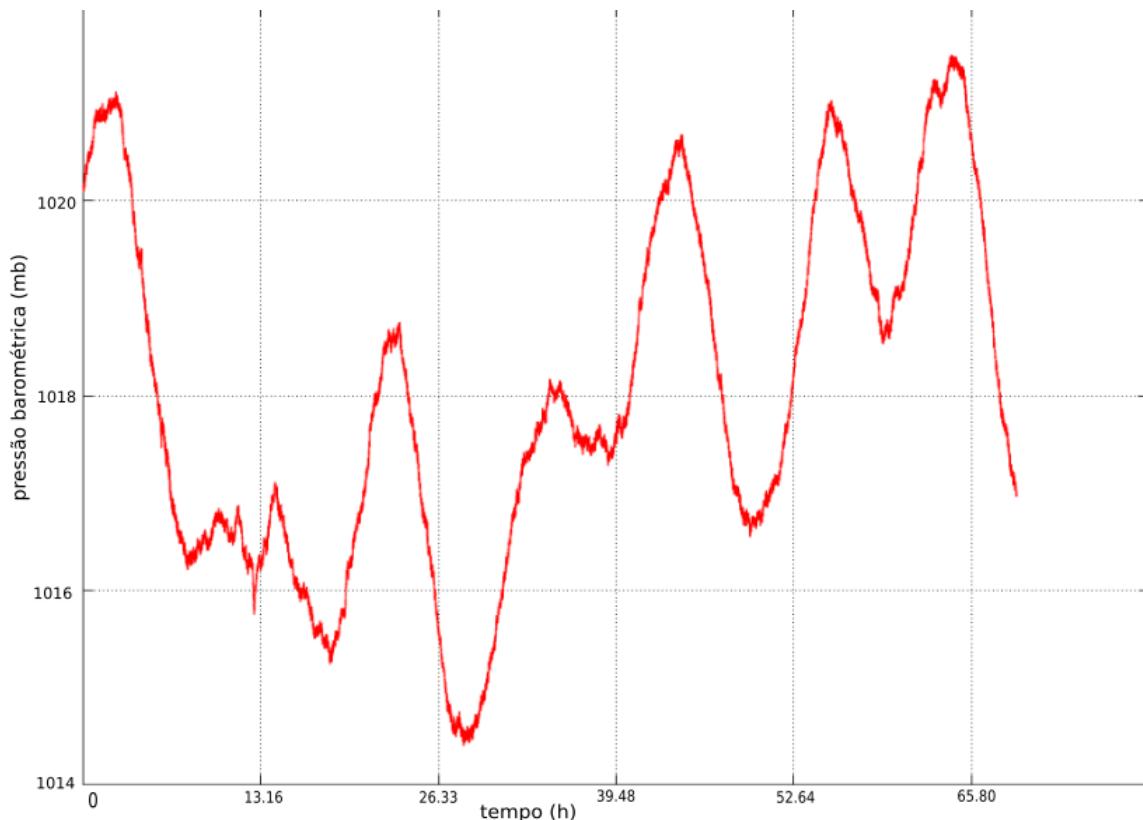
Fonte: Própria, 2018.

O gráfico manteve a umidade relativa do solo praticamente constante, todavia, no início as oscilações são oriundas de ajustes manual dos sensores. Devido à qualidade do solo e à ausência de plantas, a umidade relativa é mantida e a água permanece por mais tempo nos poros do solo, em comparação aos vasos com planta.

5.3 BMP180

Com a auxílio do sensor que captura a pressão barométrica (mb = milibar), podemos plotar o gráfico (Figura 52) e verificar o comportamento dessa variável ambiental. No gráfico, pode-se observar o comportamento da pressão barométrica com base nos dados de 10.509 amostras captadas entre o dia 11 de Maio de 2018 às 6h50 ao dia 14 de Maio de 2018 às 14h45:

Figura 52 - Comportamento da Pressão Barométrica (mb) x Tempo



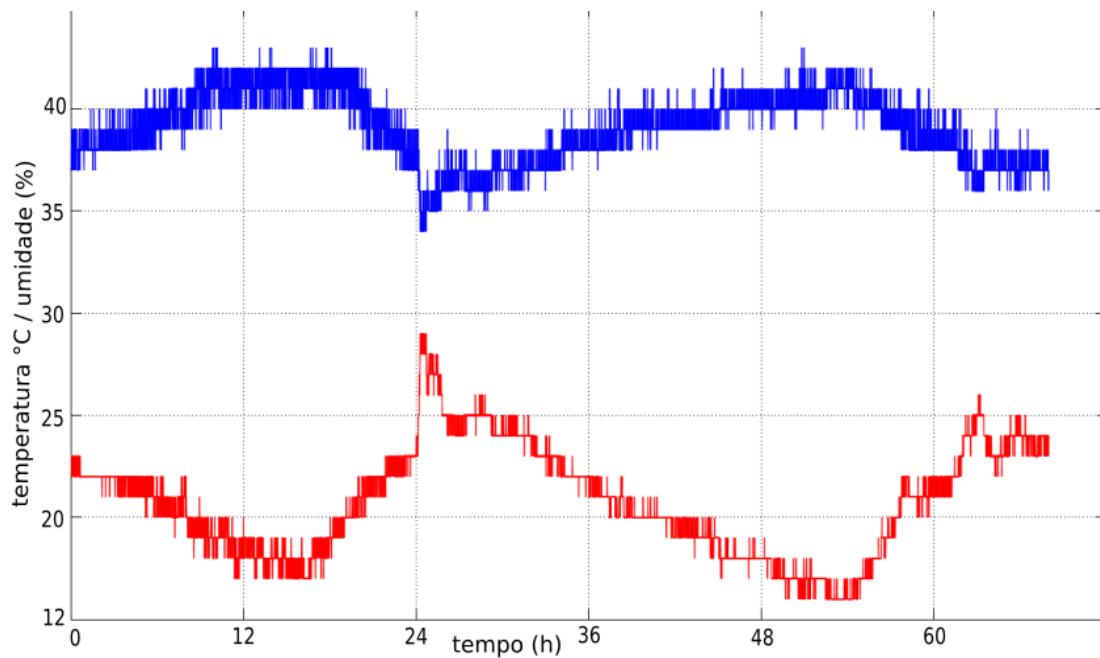
Fonte: Própria, 2018.

5.4 DHT 11

Na Figura 53, pode-se observar o gráfico da umidade relativa do ar (%) e a temperatura (°C), com o início da medição realizada no dia 27 de Maio de 2018, por volta das 16h e a última medição realizada em 29 de Maio de 2018, por volta das 16h. Todavia, o gráfico da umidade relativa do ar (%) não possui uma amplitude condizente com os dados da estação meteorológica da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. Essa variação pode ser originada da posição incorreta no sensor (janela) ou por um funcionamento anormal do sensor.

A Linha de cor azul representa a umidade relativa do ar e a linha vermelha representa a temperatura.

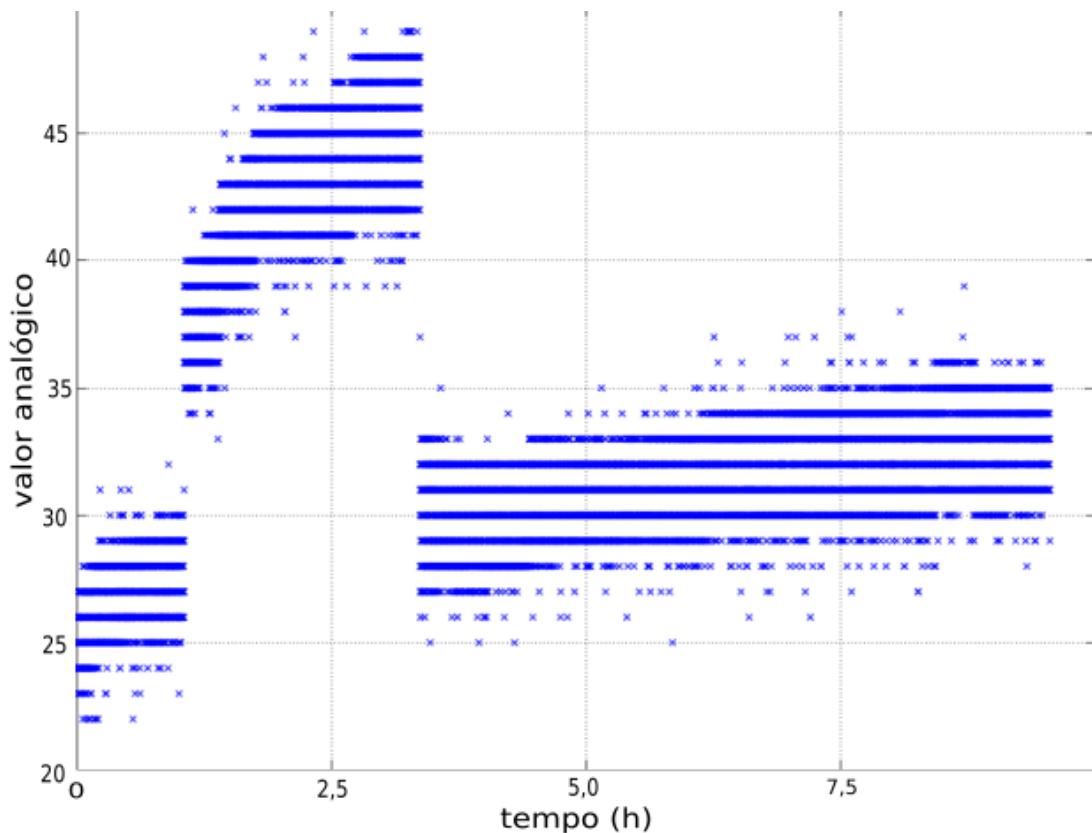
Figura 53 - Gráfico Umidade Relativa do Ar (%) x Temperatura (°C)/Umidade (%)



Fonte: Própria, 2018.

5.5 Sensor UV

Figura 54 - Gráfico de Índice UV X Tempo

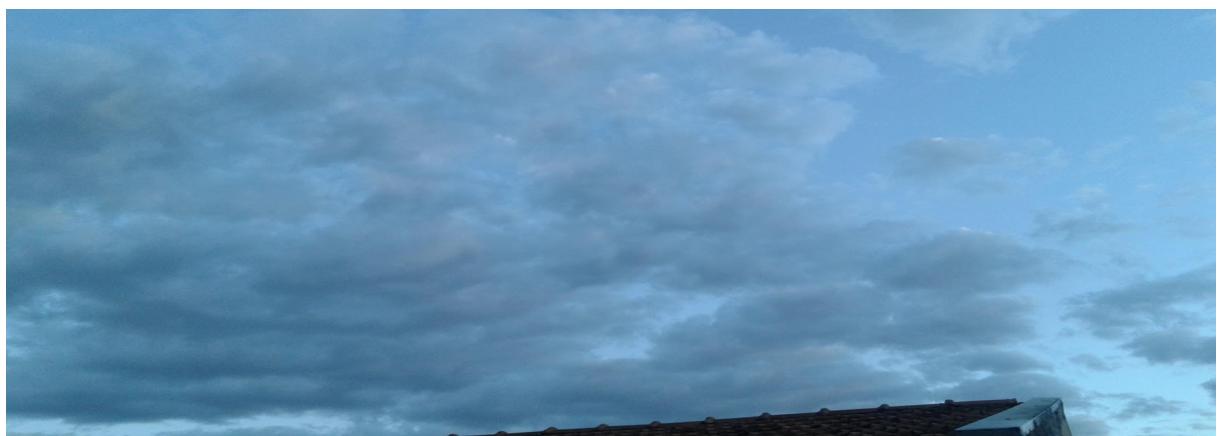


Fonte: Própria, 2018.

A medição de UV (Figura 54) foi realizada no dia 30 de Maio de 2018; na ocasião, o céu estava com formação de nuvens. De acordo com a Tabela 3 - Índice UV, podemos verificar que o índice UV máximo oscilou entre 1 e 2 pontos. Entretanto, nas outras medidas obtidas o sensor não apresentou um funcionamento correto; esse erro pode ter-se originado de um defeito no sensor ou ainda de inclinação incorreta na montagem do mesmo. A medição foi realizada durante aproximadamente 10 horas, com início durante a manhã e final aproximadamente às 16h.

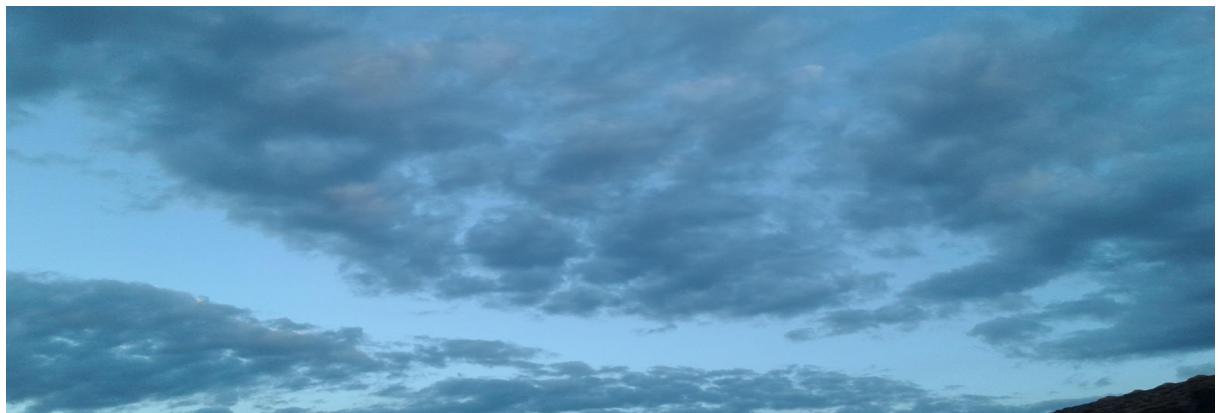
Nas (Figuras 55 e 56), pode-se verificar duas fotografias do dia 30 de Maio de 2018:

Figura 55 - Céu, dia 31 de Maio de 2018



Fonte: Própria, 2018.

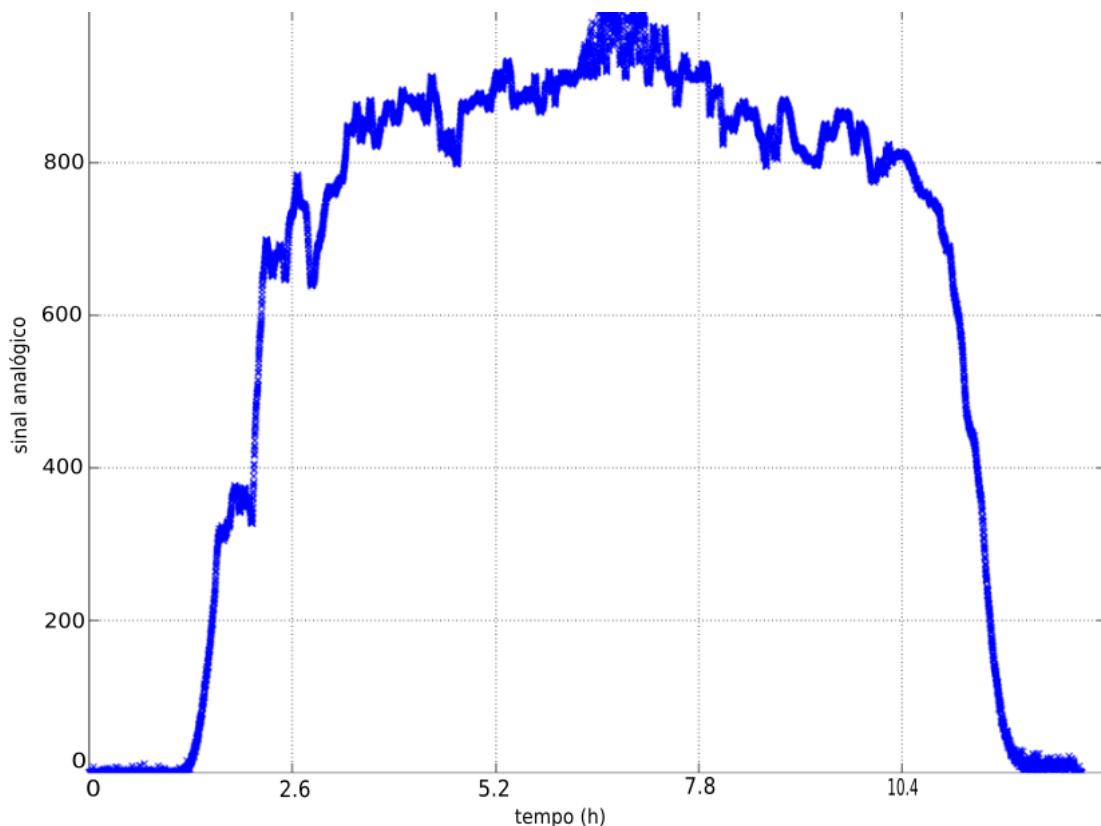
Figura 56 - Céu, dia 31 de Maio de 2018



Fonte: Própria, 2018.

5.6 LDR (*Light Dependent Resistor*)

Figura 58 - Gráfico LDR (*Light Dependent Resistor*)



Fonte: Própria, 2018.

O gráfico acima (Figura 58) mostra o comportamento do sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) no dia 16 de Junho de 2018, e descreve o comportamento da luminosidade solar no local em que localiza-se o protótipo. O início do gráfico denota o horário da manhã e no final do gráfico, no eixo das amostras, pode-se observar o comportamento do final da tarde. O meio do gráfico evidencia o horário de maior incidência solar e, consequentemente, a maior leitura do sensor. O Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) teve um funcionamento correto.

No gráfico (Figura 58), inicia a leitura 6h da e termina 19h.

Na Tabela 5, podemos verificar o custo unitário e total do material usado na construção do protótipo.

Tabela 5 - Custo do Material

MATERIAL	VALOR	QUANTIDADE	CUSTO
ARDUINO UNO	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
ETHERNET SHIELD	R\$ 60,00	2	R\$ 120,00
HIGRÔMETRO	R\$ 7,00	6	R\$ 42,00
DHT 11	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
BMP 180	R\$ 22,00	1	R\$ 22,00
CÂMERA IP	R\$ 110,00	1	R\$ 110,00
SENSOR UV	R\$ 75,00	1	R\$ 75,00
LDR	R\$ 1,50	1	R\$ 1,50
VÁLVULA SOLENÓIDE	R\$ 44,00	1	R\$ 44,00
BOMBA HIDRÁULICA	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
SENSOR ULTRASSÔNICO	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
TOTAL			R\$ 514,50

Fonte: Própria, 2018.

Capítulo 6

Conclusão

Em suma, o sistema visa atender as necessidades de médios e pequenos produtores, possibilitando a construção de um sistema de irrigação com baixo custo financeiro e então fornecendo apoio no monitoramento e na tomada de decisão via WEB. O software pode ser classificado como Sistema Especialista.

Com a utilização da árvore de decisão é possível verificar o melhor momento para irrigar de acordo com a recomendação de irrigação. Devido ao fato do ambiente de desenvolvimento ser uma prototipação, foi considerado irrigação de 50 ml, 100 ml e 150 ml. O sistema permite visualizar o volume gasto na irrigação em tempo real e, assim, irrigar até atingir a umidade do solo ideal com o controle de volume instantâneo.

O custo para construir o protótipo do sistema de irrigação, nesse caso apenas o *software* e o *hardware*, é acessível ao pequeno e médio produtor, pois seu valor resultou em R\$ 514,00 (apenas o custo do protótipo, sem considerar o custo do programador). Outro valor envolvido vem da necessidade de contratar um provedor de internet, assinar um plano mensal e contratar um serviço de hospedagem de sistema WEB, ou utilizar um servidor local. O custo total ficará por volta de R\$ 4.000,00 na hipótese mais cara, que seria a compra de um servidor local. Caso seja usado um sistema hospedado em uma empresa, o custo reduz, porque não há necessidade de comprar o servidor local; entretanto, com qualquer problema na conexão de internet, o sistema ficará inutilizável. Caso seja usado um servidor local, pode-se utilizar o sistema dentro do imóvel com os recursos da rede local mesmo com falta do serviço de internet.

Para a instalação na propriedade de pequeno ou médio porte, é necessário introduzir os sensores de umidade relativa do solo na superfície do solo em locais onde se localiza a cultura e, também no subsolo em uma profundidade relativa ao tamanho da raiz da planta. Também é preciso configurar o Arduino e posicionar os sensores de modo a enviar os dados ao banco de dados. Deve-se ainda configurar o sensor ultrassônico ao reservatório de água para efetuar o controle de volume para irrigação, instalar os atuadores aos condutos de irrigação e posicionar os aspersores e gotejadores nos locais apropriados. Dessa maneira, é possível controlar a irrigação à distância, por um dispositivo conectado na internet com utilização do sistema WEB.

O sistema não é automático, pois todo acionamento dos atuadores e tomada de decisão depende do operador do sistema.

Referências Bibliográficas

MARQUES, P. E. *Desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia hidrográfica*. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

BARBOSA, J. W. *Sistema de irrigação automatizado utilizando plataforma Arduino*. Trabalho (Conclusão de Curso Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis: Fundação Educacional do Município de Assis, 2013.

TESTEZLAF, R. *Irrigação: métodos, sistemas e aplicações*. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017.

SHAHIDIAN, S., GUIMARÃES, R. C., RODRIGUES C. M., CHAMBEL, A., ALEXANDRE C. A., SANTOS, F. L., BASCH, G., ANDRADE, J. A., COELHO, R. *Hidrologia Agrícola*. Universidade de Évora: Publidisa, 2012.

CAVALCANTE, M. M.; SILVA, J. L. de S.; VIANA, E. E.; DANTAS, J. R. A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 2014.

SOUZA, F. Arduino UNO. *Alimentação da placa Arduino UNO*, [S.I.], 29/11/2013. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>. Acesso em 25/09/2017.

SILVA, J. L. de S.; CAVALCANTE, M. M.; CAMILO, R. da S.; GALINDO, A. L.; VIANA, E. C. *Plataforma Arduino ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35*. Trabalho (pesquisa) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Paulo Afonso – BA: s.n., 2014.

GUIMARÃES, C.C. *Fundamentos de bancos de dados: modelagem, projeto e linguagem SQL*. Campinas – SP: Editora da Unicamp, 2003.

SOUZA, V. F.; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; FILHO, M. A. C. *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

RUSSEL, S.; NORVIG, P.; SIDNEI, R. (Ed.) *Inteligência Artificial*. 2. ed. Tradução Vandenberg D. de Souza. Rio de Janeiro - RJ: Campus Elsevier, 2004.

REZENDE, S. O. *Sistemas Inteligentes Fundamentos e Aplicações*, Barueri, SP: Manole, 2005.

BERTOLETI, P. Planta IoT com ESP8266 NodeMCU – Parte 1. *FilipeFlop*, [S.I.], ago. 2016. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/planta-iot-com-esp8266-nodemcu/>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

- THOMSEN, A. Medidor de Índice UV com Arduino. *FilipeFlop*, [S.I.], out. 2015. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-indice-uv-com-arduino/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- JUNIOR, J. J. A. M; JUNIOR, S. L. S. LDR e Sensores de Luz Ambiente: Funcionamento e Aplicações. *Researchgate.net*, [S.I.], jun. 2013. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/287958715>>. Acesso em 02 jun. 2018.
- BARRETO, G.; JUNIOR, C. A. C.; MURARI, A. F.; SATO, F. *Circuitos de Corrente Alternada – Fundamentos e Prática*. [S.I.] Oficina de Textos, 2012.
- NILTON, F. Controlando Lâmpadas com Módulo Relé Arduino. *Wordpress.com*, [S.I.], fev. 2015. Disponível em: <<https://niltonfelipe.wordpress.com/2015/02/17/controlando-lampadas-com-modulo-rele-arduino/>>. Acesso em 02 jun. 2018.
- FREITAS, A. T. Árvores de Decisão. *GFBioinfo*, [S.I.], out. 2008. Disponível em: <<http://web.tecnico.ulisboa.pt/ana.freitas/bioinformatics.ath.cx/bioinformatics.ath.cx/in dexf23d.html?id>>. Acesso em 02 jun. 2018.
- GNU Octave. Version 4.4.0 [S.I.]: GNU General Public License, 30 abr. 2018.