

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**DANIELE DE OLIVEIRA
MARLON RODRIGUES SOUSA DA MATA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE ESTUFA DOMÉSTICA AUTOMATIZADA
DE BAIXO CUSTO EMPREGANDO O USO DE MICROCONTROLADOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

DANIELE DE OLIVEIRA
MARLON RODRIGUES SOUSA DA MATA

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE ESTUFA DOMÉSTICA AUTOMATIZADA
DE BAIXO CUSTO EMPREGANDO O USO DE MICROCONTROLADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Elisabete Nakoneczny Moraes.

CURITIBA

2019

DANIELE DE OLIVEIRA

MARLON RODRIGUES SOUSA DA MATA

**Projeto e Desenvolvimento de Estufa Doméstica Automatizada de Baixo Custo
Empregando o Uso de Microcontrolador**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Controle e Automação, do curso de Engenharia de Controle e Automação, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 27 de novembro de 2019.

Prof. Paulo Sérgio Walenia,

Coordenador de Curso

Engenharia de Controle e Automação

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre

Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso

de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Elisabete Nakoneczny Moraes, Dr^a.

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Delvanei Gomes Bandeira Junior, Dr.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Glauber gomes de Oliveira Brante, Dr.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que fizeram parte de nossas vidas durante o período de graduação, a todos que nos amam incondicionalmente, que nos encorajaram e deram suporte quando mais precisamos, aos nossos cônjuges, às nossas famílias e amigos.

Em especial à professora doutora Elisabete por nos orientar, ser paciente e acreditar em nosso trabalho. Agrademos aos professores doutores que aceitaram fazer parte de nossa banca de trabalho de conclusão 2.

Acima de tudo, agrademos a Deus por quem somos, pois sem Ele nada em nossas vidas teria sentido.

RESUMO

OLIVEIRA, Daniele de, A.; MATA, Marlon Rodrigues Sousa da, B. **Projeto e Desenvolvimento de Estufa Doméstica Automatizada de Baixo Custo Empregando o Uso de Microcontrolador**. 2019. 86 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

O cultivo em estufas possibilita a criação de um microclima favorável para maximizar o seu desenvolvimento, além de evitar que intempéries, (como temporais, geadas, calor excessivo, estiagem, pragas e insetos), prejudicando a produtividade das culturas. Além disso, o cultivo protegido evita a utilização de agrotóxicos, que futuramente podem acarretar problemas de saúde.

Neste trabalho, será explanado o desenvolvimento de uma estufa automatizada de baixo custo, visando que pessoas que possuam pouco tempo livre, pouca área útil em suas residências, pouco/nenhum conhecimento em cultivo de hortaliças, possam ter sua própria horta em casa e controlá-la remotamente via aplicativo *Android*.

Palavras-chave: estufa automatizada, baixo custo, controle, protótipo, interface homem-máquina, cultivo protegido (*indoor*), sensor, microcontrolador.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Daniele de, A.; MATA, Marlon Rodrigues Sousa da, B. **Low Cost Automated Domestic Greenhouse Design and Development Employing The Use of Microcontroller**. 2019. 86 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Greenhouse cultivation permits to create of a microclimate favorable to maximize the plants development, it preventing issues (such as thunderstorms, frost, excessive heat, drought, pests and insects) that prejudiced the crop productivity. In addition, protected cultivation avoids the use of pesticides, wich in the future may cause health problems for those who cultivate and feed.

In this project, it has been developed a low-cost automated greenhouses, so people who have limited free time, little living space in their houses, without knowlegde of growing vegetables, can have their own greenhouse and control it remotely via Android app.

Key words: automatized greenhouse, low cost, control, prototype, human-machine interface, protected cultivation, sensor, microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de cultivo orgânico em hectares américa latina.....	13
Figura 2 - Estufas Plantário e Mini Plantário	19
Figura 3 - Estufa Niwa	20
Figura 4 - Estufa Platui <i>Smart Garden</i>	21
Figura 5 - Arduino MEGA	26
Figura 6 - IDE Arduino.....	27
Figura 7 - Shield de relés	28
Figura 8 - Sensor de temperatura e umidade DHT22	29
Figura 9 - Sensor de umidade do solo	31
Figura 10 - Sensor LDR	32
Figura 11 - Sensor de nível de água	33
Figura 12 - Eletrobomba de água.....	34
Figura 13 - <i>Cooler fan</i>	35
Figura 14 - Barra de LEDs.....	36
Figura 15 – Pastilha de Peltier	37
Figura 16 – Transferência de calor na pastilha de Peltier	37
Figura 17 – Módulo <i>bluetooth</i>	38
Figura 18 - Topologia do sistema	40
Figura 19 - Esboço hardware	41
Figura 20 - Modelo 3D estufa doméstica.....	42
Figura 21 - Reservatório e água e vaso	44
Figura 22 - Esboço estrutura estufa	45
Figura 23 - Estrutura estufa montada.....	45
Figura 24 - Estufa instrumentada	46
Figura 25 - Estufa instrumentada ativa.....	47
Figura 26 - Diagrama do circuito eletrônico interface com plataforma microcontrolada	48
Figura 27 - Protótipo do circuito eletrônico	49
Figura 28 - Diagrama conexão sensores DHT22 e LDR	49
Figura 29 - Fluxograma software de controle do sistema.....	50
Figura 30 - Fluxograma funcionamento subsistema de irrigação.....	54
Figura 31 – Fluxograma funcionamento sistema de iluminação.....	55
Figura 32 - Ambiente de desenvolvimento MIT App Inventor.....	56
Figura 33 - Aplicativo android para interface com o sistema	57
Figura 34 - Fluxograma armazenamento dados EEPROM.....	58
Figura 35 - Resposta temperatura ao longo do dia	59
Figura 36 - Resposta do controle de irrigação ao longo do dia	61
Figura 37 - Resposta exposição a luz ao longo do dia.....	62
Figura 38 – Funcionamento da estufa.....	63

Figura 39 – Mudanças de hortaliças em ambiente protegido após 18 dias de cultivo	63
Figura 40 - Mudanças de alface em ambiente externo após 18 dias de cultivo	64
Figura 41 - Mudanças de salsinha em ambiente externo após 18 dias de cultivo	64
Figura 42 - Produtividade de rúcula, cv. Folha Larga, cultivada em campo e ambiente protegido no inverno (A) e no verão (B), em função de doses de nitrogênio, na colheita.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela comparativa estufas <i>indoor</i>	22
Tabela 2 - Temperatura ideal para hortaliças elencadas.	23
Tabela 3 - Umidade do ar ideal para hortaliças elencadas.	24
Tabela 4 - Tabela especificações Arduino MEGA.	27
Tabela 5 - V_{OUT} relacionado à variação de luminosidade no LDR.	32
Tabela 6 - Culturas selecionadas para testes do sistema	57
Tabela 7 - Relação umidade do solo x DC	60
Tabela 8 - Custos na elaboração do projeto	85

LISTA DE SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
AAO	Associação de Agricultura Orgânica
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IBD	Associação de Certificação Instituto Biodinâmico
ICSP	<i>In-Circuit Serial Programming</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IFOAM	<i>International Federation of Organic Agriculture Movements</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
NC	<i>Normally-Closed</i>
NO	<i>Normally-Opened</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
SMD	<i>Surface-Mount Devices</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TFT	<i>Thin Film Transistor</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.1.1	Cultivo orgânico no brasil	13
1.1.2	Delimitação do tema	14
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo geral	16
1.3.2	Objetivos específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2.	EQUIPAMENTOS COMERCIAIS	19
2.1	PLANTÁRIO	19
2.2	NIWA	20
2.3	PLANTUI SMART GARDEN	21
2.4	CONSIDERAÇÕES	21
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1	FATORES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS	23
3.1.1	Temperatura	23
3.1.2	Umidade do ar	24
3.1.3	Luminosidade	25
3.1.4	Irrigação	25
3.2	MICROCONTROLADOR	25
3.2.1	Arduino MEGA	26
3.2.2	<i>Shield</i> de relés	28
3.3	SENSORES	29
3.3.1	Sensor de temperatura e umidade do ar - DTH22	29
3.3.2	Sensor de umidade do solo - Higrômetro	30
3.3.3	Módulo sensor de luminosidade – LDR	31
3.3.4	Sensor de nível de água	32
3.4	ATUADORES	33
3.4.1	Eletrobomba de água	33

3.4.2	Cooler fan	35
3.4.3	LED para iluminação	36
3.4.4	Pastilha de Peltier	36
3.5	IHM.....	38
3.5.1	Módulo <i>bluetooth</i>	38
4.	ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	40
4.1	TOPOLOGIA DO SISTEMA	40
4.2	ESBOÇO DO PROJETO.....	41
5.	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	43
5.1	DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA MECÂNICA DA ESTUFA.....	44
5.2	PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE <i>HARDWARE</i>	48
5.3	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	50
5.3.1	Controle de temperatura	51
5.3.2	Controle de irrigação	53
5.3.3	Controle de iluminação	54
5.4	DESENVOLVIMENTO INTERFACE COM O USUÁRIO.....	55
5.5	PROCEDIMENTO DE TESTES	57
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS	58
6.1	CONTROLE DE TEMPERATURA	59
6.2	CONTROLE DE IRRIGAÇÃO	60
6.3	CONTROLE DE LUMINOSIDADE	61
6.4	RESULTADOS.....	62
7.	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO	71
	APÊNDICE B – CÓDIGO APP ANDROID (MIT APP INVENTOR)	80
	ANEXO A – CULTIVO DE HORTALIÇAS EM ESTUFAS	82
	ANEXO B – CUSTOS DE MATERIAIS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO	85

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Os alimentos, juntamente com a água, desempenham papel fundamental para existência humana e a sustentabilidade no planeta. Para tal, a agricultura é responsável por produzir a grande maioria dos alimentos, mas vem enfrentando muitos desafios, como mudanças climáticas, escassez de água, mão de obra, cuidados com a qualidade do alimento e o impacto ambiental (LI et al, 2008).

Com o objetivo de minimizar o impacto ambiental, a agricultura orgânica é um processo produtivo que não permite o uso de substâncias que ofereçam risco à saúde humana e ao meio ambiente¹. Segundo o site da Associação de Agricultura Orgânica ([AAO](#)), essa técnica de produção assegura o fornecimento de alimentos orgânicos saudáveis, mais saborosos e de maior durabilidade (AAO, 2016).

A produção agrícola convencional, que faz uso de agrotóxicos, oferece riscos de contaminação não apenas ao consumidor e aos trabalhadores agrícolas, mas também ao solo e à água. O uso de agrotóxicos, mesmo quando aplicado diretamente nas plantas, têm como destino final o solo, pois são lavados das folhas através da ação da chuva ou da água de irrigação. Em longo prazo, esta contaminação pode acarretar danos irreversíveis ao solo (VEIGA et al, 2006).

A segurança de consumir um alimento livre de agrotóxico é um ponto central da produção orgânica, mas não é o único. Questões ambientais mais abrangentes que o não-uso de agrotóxicos e fertilizantes de alta solubilidade, além de outras, relativas ao contexto social no qual o produto orgânico foi produzido, também são pertinentes à proposta de agricultura orgânica. Apesar dessa abrangência, o grande propulsor do consumo de produtos orgânicos é a expectativa do consumidor de contar com um alimento de melhor qualidade e sem riscos para a saúde (ROSA, 2007).

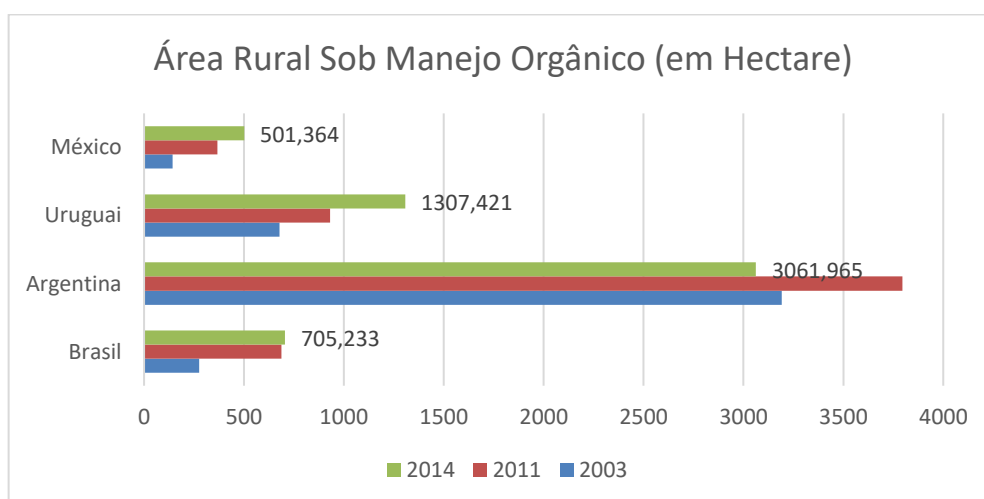
¹ O IBD, Associação de Certificação Instituto Biodinâmico, é responsável por realizar a certificação de produtos orgânicos no Brasil, garantido através de supervisão e auditorias, a qualidade dos produtos que possuem seu selo. Além disso, possui credenciamento na IFOAM (Federação Internacional dos Movimentos da Agricultura Orgânica).

1.1.1 Cultivo orgânico no Brasil

O sistema orgânico de produção já é praticado e registrado em mais de 150 países ao redor do mundo, sendo observada uma rápida expansão, sobretudo na Europa, EUA, Japão, Austrália e América do Sul. Esta expansão está associada, em grande parte, ao aumento de custos, problemas ambientais e de contaminação de alimentos, causados pela agricultura convencional ou industrial (SALVADOR, 2009).

A Figura 1 apresenta a evolução dessa cultura em quatro países da América Latina. A área de cultivo de orgânicos no Brasil vem crescendo nos últimos anos, porém, ainda de forma irregular, como observado entre os anos de 2011 a 2014, cuja taxa é pouco expressiva (IFOAM, 2016).

Figura 1 - Área de cultivo orgânico em hectares América Latina



Fontes: (FiBL& IFOAM *Organics International*, 2016).

A *Organics* Brasil, programa que visa estimular o comércio internacional de produtos orgânicos, citado no site da Gazeta do Povo, divulga que nos últimos anos o brasileiro tem consumido mais produtos orgânicos. Isto faz com que o mercado para esta classe de produtos encontre-se em crescente ascensão, com taxa de crescimento de 25% em 2015 e previsão acima de 30% em 2016 (*Organics* Brasil *apud* Gazeta do Povo, 2016).

Porém o crescimento previsto não foi atingido, o mercado nacional de orgânicos cresceu 20% em 2016. O faturamento foi menor que o alcançado em 2015, em razão da crise econômica que afetou o país (Globo Rural, 2017).

O aumento do consumo de produtos orgânicos pelo brasileiro é justificado pelos benefícios que estes oferecem à saúde, tais como, ser um produto livre de agrotóxicos e sem conservantes, e também por se tratar de uma produção sustentável, pois não causa danos ao meio ambiente.

1.1.2 Delimitação do tema

Normalmente o cultivo de plantas ocorre ao ar livre, e nestas condições, as plantas são rústicas, ou seja, seu desenvolvimento está diretamente ligado às condições climáticas do ambiente, fazendo com que esta atividade possua elevado grau de fragilidade.

Com o intuito de minimizar o vínculo do cultivo agrícola aos fatores climáticos, originou-se o cultivo controlado das plantas pelo uso de estufas. Na sua essência, uma estufa constitui um ambiente melhorado, que permite a cultura de plantas com um gerenciamento das características ambientais, as quais não podem ser alcançadas nas condições naturais.

Em geral, as plantas que crescem em estufas ou em outros ambientes protegidos dependem das características da estufa e da fonte de calor, para se assegurar um melhor desenvolvimento e produção. Este método de cultivo deve ser precedido da escolha da estufa ideal para a cultura a ser plantada, onde se deve observar os seguintes fatores: dimensões que a planta atinge, necessidade de irrigação, fonte de calor artificial e iluminação (BECKETT, 1987).

Nas estufas, as condições ambientais podem ser alteradas e/ou mantidas por meio de equipamentos como ventiladores/exaustores, aquecedores, nebulizadores, lâmpadas, tela escura, entre outros. Esses equipamentos podem ser controlados manualmente ou automatizados, através da utilização de controlador lógico programável (CLP) ou sistema microcontrolado, por exemplo (SGANZERLA, 1997). Quando automatizadas, geralmente utilizam CLP, o que eleva o custo de implementação.

Existem estufas que são próprias para o cultivo em ambiente fechado, disponibilizadas em diversas dimensões e com necessidade de fonte de calor artificial, mas possuem elevado custo (RAIZ CULTIVO INDOOR, 2016).

O mercado de estufas *indoor*, voltadas para pequena produção, ainda é pouco explorado e, em se tratando de estufas automatizadas, essas não são encontradas no mercado nacional. Desta forma, uma estufa automatizada é uma alternativa para o cultivo em ambiente fechado, que não dispõe do espaço necessário para uma horta convencional. Além disso, a utilização de uma estufa automatizada permite que os parâmetros fundamentais para o crescimento da planta sejam controlados, tais como: temperatura, luminosidade e irrigação, minimizando a manutenção, evitando desperdícios e propiciando um ambiente menos propenso às pragas biológicas.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Inicialmente buscou-se o reconhecimento do mercado que comercializa estufas domésticas. Desta forma, procedeu-se com a busca na internet de sites que ofereçam este tipo de produto. Foram identificadas estufas comerciais de alto custo, devido a um mercado seleto de fabricantes e a semelhança entre os produtos disponíveis no mercado brasileiro².

A partir deste levantamento, observou-se a escassez deste tipo de produto. Assim, pretende-se explorar através desta pesquisa a construção de um protótipo de uma estufa de baixo custo, com o propósito de facilitar e promover o cultivo de orgânicos em residências.

A proposta inicial é a construção de um protótipo de uma estufa *indoor*, equipada com microcontrolador, sensores e atuadores.

A atividade prevista consiste em equipar a estufa com:

- i) Microcontrolador;
- ii) Sensores de temperatura, umidade e nível de reservatório;
- iii) Atuadores: luzes de LED (*Light Emitting Diode* - diodo emissor de luz), que substituirá a iluminação natural, ventilador/exaustor, para controle da temperatura, e bomba de água, para irrigação.

Será realizada a aquisição dos parâmetros climáticos no interior da estufa e, de acordo com a cultura plantada e as configurações realizadas pelo usuário, serão realizados o controle de irrigação, temperatura e luminosidade através da plataforma Arduino.

²Algumas empresas como Plantei, Cultivo Indoor Raiz e Veja & Flora Cultivo Indoor, comercializam pela internet, por exemplo, estufas com características e preços muito semelhantes, gerando uma homogeneidade nos produtos oferecidos no mercado nacional.

Por se tratar de um sistema microcontrolado amplamente utilizado para automação, permitirá a construção de um equipamento de baixo custo em comparação aos disponíveis no mercado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um projeto protótipo automatizado de baixo custo de uma estufa para o cultivo doméstico de hortaliças, visando atender a pessoas que tenham vontade de produzir hortaliças orgânicas em casa, de maneira prática e com qualidade.

1.3.2 Objetivos específicos

- Fazer um levantamento dos modelos de estufas existentes no mercado;
- Determinar os equipamentos necessários para a construção do *hardware* do sistema;
- Estabelecer o microcontrolador a ser utilizado;
- Elaborar a programação do microcontrolador;
- Desenvolver interface humano e máquina;
- Desenvolver o projeto do sistema;
- Produzir um protótipo do sistema;
- Ensaiar o protótipo com hortaliças que apresentam tempo de cultivo reduzido;
- Analisar o funcionamento do sistema;
- Comparar os resultados obtidos com uma horta desenvolvida fora do protótipo.

1.4 JUSTIFICATIVA

O cerne deste projeto será realizar o controle das variáveis: temperatura, umidade e luminosidade de uma estufa para produção orgânica e doméstica de hortaliças. O ambiente controlado possibilita o cultivo de plantas em qualquer época

do ano, pois seu microambiente interno poderá ser mantido, independentemente das condições climáticas externas.

O cultivo de orgânicos em estufas trata-se de um investimento elevado, por isso dificulta a implementação e utilização deste tipo de cultivo em residências. As estufas comuns utilizam o controle ambiente que é realizado de forma manual, ou seja, o controle de irrigação, temperatura, luminosidade, portanto, dependem de intervenção humana para serem realizados.

Quando se opta por utilizar uma estufa microcontrolada com fonte de calor artificial, descarta-se a necessidade de intervenção contínua no seu microambiente, uma vez que os parâmetros ideais para o melhor desenvolvimento da cultura plantada são monitorados e controlados pelo próprio sistema. Assim é possível cultivar os mais variados tipos de plantas em ambientes com pouca disponibilidade de espaço.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para que este objetivo seja concluído, planeja-se a execução de três etapas primordiais:

Na primeira etapa foram delimitados à pesquisa de referenciais teóricos relacionados a estufas, hortaliças e cultivo de orgânicos. Com isso, estabeleceu-se os conhecimentos conceituais como base para o início do projeto. Além disso, estudou-se o microcontrolador, atuadores, e ainda os sensores de temperatura, umidade e nível para a compatibilização ao projeto.

A segunda etapa consistirá na programação do microcontrolador, simulação para a verificação do funcionamento e desenvolvimento do projeto da estufa. Com isso, o protótipo poderá ser construído e no qual serão realizados testes, com o intuito de aferir o funcionamento do controlador com todos os periféricos do sistema.

A terceira e última etapa consistirá na implementação da interface humano e máquina de modo intuitivo e acessível. Finalmente, o protótipo deverá entrar em operação, serão selecionadas culturas de hortaliças para que se possa obter e analisar os resultados da implementação do projeto, com isso, aferidos com os benefícios que a estufa proporcionou.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em sete capítulos, sendo:

- Capítulo 1 – Introdução: será abordado o tema proposto, os objetivos, as premissas e problemas, além de brevemente abordar a metodologia a ser utilizada para elaboração do projeto a ser desenvolvido.
- Capítulo 2 – Equipamentos Comerciais: será realizado um levantamento de três modelos de estufas automatizadas encontrados no mercado nacional e externo.
- Capítulo 3 – Referencial Teórico: Em sua primeira parte será abordado os fatores climáticos na produção de hortaliças. Na segunda parte, será estudado o microcontrolador utilizado, bem como os *shields* utilizados no projeto.
- Capítulo 4 – Especificação do Projeto: Este capítulo abordará passo-a-passo a metodologia aplicada à confecção deste projeto.
- Capítulo 5 – Desenvolvimento do Protótipo: A partir do capítulo anterior será desenvolvido o protótipo, bem como a implementação na programação para a interface homem máquina.
- Capítulo 6 – Análise de Resultados: Finalizada a construção do protótipo, serão elaborados testes, para averiguar o controle da temperatura, iluminação e umidade da planta. Após serão observados os resultados e comparados com uma horta desenvolvida externamente do protótipo.
- Capítulo 7 – Conclusão: Serão explicitadas as considerações finais do projeto, desde a sua viabilidade econômica, o seu rendimento durante sua atuação, até como se este atendeu às expectativas de projeto.

2. EQUIPAMENTOS COMERCIAIS

Neste capítulo serão apresentados três produtos comerciais e exemplo de sistemas de cultivo dentro de casa (*indoor*) automatizado. O modo de funcionamento, vantagens e desvantagens e custo serão os assuntos abordados.

2.1 PLANTÁRIO

Desenvolvido no Brasil, o Plantário é um eletrodoméstico que possibilita o cultivo de vegetais orgânicos *indoor*. Equipado com LEDs, ventiladores, reservatório e bomba de água, o equipamento realiza o controle automático da iluminação, ventilação e irrigação dentro de seu microclima (PLANTARIO, 2016). Na Figura 2 são apresentados os modelos do Plantário disponíveis no mercado, o menor é chamado de Mini Plantário.

Figura 2 - Estufas Plantário e Mini Plantário



Fonte: (PLANTARIO, 2016).

O Plantário possui 9 vasos, onde as sementes ou mudas devem ser plantadas. O substrato utilizado para o desenvolvimento das plantas é fornecido pela própria fabricante da estufa.

Segundo o manual do equipamento, o abastecimento do reservatório de água pode ser realizado de forma manual ou automática, quando ligado à rede de abastecimento de água. Ainda, o sistema possui duas programações referentes à iluminação, a primeira apresenta um ciclo de iluminação de 12 horas no dia e a segunda 18 horas no dia. Os demais processos são realizados de forma automática, sem que seja possível ajustes de parâmetros.

2.2 NIWA

Na Figura 3, é apresentado o Niwa (jardim em japonês) é um sistema de cultivo hidropônico automatizado, que utiliza sensores e atuadores para simular condições ambientais reais. Seu controle é todo realizado através de um aplicativo para *smartphone*.

Figura 3 - Estufa Niwa



Fonte: (NIWA, 2014).

Para começar a cultivar, é necessário selecionar o tipo de planta no aplicativo de *smartphone*, o programa específico para esta planta será carregado no sistema, iniciando uma sequência de iluminação, irrigação, além de ajustar o microclima para as condições adequadas para a planta. É possível acompanhar o crescimento da planta pelo aplicativo e realizar ajustes no controle, caso necessário.

Embora automatizado, o sistema necessita de manutenção. Dependendo da planta é necessário limpar e reabastecer o reservatório de água e nutrientes a cada uma ou duas semanas, sendo gerenciado pelo aplicativo as necessidades de manutenção. No site da fabricante é possível coletar informações sobre quais nutrientes devem ser utilizados para cada tipo de planta.

Seus desenvolvedores definem o Niwa como “o primeiro sistema de crescimento de plantas controlado por *smartphones* do mundo, que lhe permite cultivar o alimento mais fresco e saudável da Terra” (NIWA, 2014).

2.3 PLANTUI SMART GARDEN

O *Plantui Smart Garden*, Figura 4, é um equipamento para cultivo de hortaliças em ambiente fechado, assim como o Niwa. É utilizada uma técnica de hidroponia para a irrigação e desenvolvimento das plantas. Os controles de iluminação e irrigação são realizados de forma automática (PLANTUI, 2016).

Figura 4 - Estufa Platui Smart Garden



Fonte: (PLANTUI, 2016).

As sementes para plantio são vendidas pela própria fabricante, sendo comercializadas através de capsulas. Cada *Plantui Smart Garden* comporta 6 cápsulas, sendo possível cultivar 6 plantas diferentes ao mesmo tempo, porém o fabricante recomenda, para garantir um melhor desenvolvimento, que as plantas a serem cultivadas possuam mesmo ritmo e tempo de crescimento. As sementes fornecidas alcançam desenvolvimento total entre 4 e 8 semanas.

O dispositivo ainda conta com um ajuste automático da intensidade e espectro de luz a qual será submetida a planta, ou seja, a planta no estágio de muda recebe iluminação adequada para seu melhor desenvolvimento e esta é ajustada conforme seu crescimento, até a planta se encontrar em condições de consumo.

Apesar de contar com um sistema de irrigação automático, o *Plantui Smart Garden* necessita de manutenção periódica nos níveis de água e concentração de nutrientes, para que o desenvolvimento das plantas acontece da forma saudável e adequada.

2.4 CONSIDERAÇÕES

A partir das informações obtidas foi possível realizar a comparação entre os sistemas apresentado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela comparativa estufas *indoor*.

Dispositivo	Vantagens	Desvantagens	Valor (R\$)
Plantário	Produzido no Brasil, empresa fornece substrato e sementes para cultivo, pode-se cultivar diferentes plantas de forma simultânea.	Custo alto, não é possível realizar ajuste fino dos parâmetros de controle.	1290 - 2790
Niwa	Sistema possui banco de dados para auxiliar o cultivo de várias plantas, possui aplicativo para <i>smartphone</i> .	Necessária manutenção periódica no nível de água do reservatório e solução nutritiva.	1467,00
Platui Smart Garden	Fabricante fornece sementes, solução nutritiva, sistema de iluminação que favorece melhor desenvolvimento da planta.	Necessária manutenção periódica no nível de água do reservatório e solução nutritiva.	1228,15

Fonte: Autoria própria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta variáveis que interferem no desenvolvimento de cada grupo de hortaliças para aprofundamento do cultivo de hortaliças, vide Anexo A.

3.1 FATORES CLIMÁTICOS NA PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

O clima é de vital importância para o desenvolvimento de plantas e, fatores climáticos como temperatura e luminosidade podem intervir de forma benéfica ou não no desenvolvimento da planta, assim, controlar esses fatores deve ser de grande relevância objetivando o maior desempenho possível da cultura (SANTOS; JUNIOR; NUNES, 2010). Sendo assim, pretende-se neste projeto, desenvolver o controle dos seguintes fatores:

3.1.1 Temperatura

As mudanças de temperatura interferem diretamente no desenvolvimento das plantas atingindo em processos como transpiração, respiração, fotossíntese, germinação, crescimento, floração e frutificação (CERMEÑO, 2005). Para o seu desenvolvimento, cada planta carece de uma faixa de temperatura específica, visando a otimização do seu crescimento faixas de temperatura adequadas devem ser implementadas, enquanto variações fora desta faixa significam perdas em sua qualidade, sabor e, até impedir o desenvolvimento da planta.

Tabela 2 - Temperatura ideal para hortaliças elencadas.

<i>Hortaliça</i>	<i>Temperatura Ideal</i>
<i>Acelga</i>	<i>18 °C a 22 °C</i>
<i>Aipo</i>	<i>18 °C a 25 °C</i>
<i>Alface</i>	<i>14 °C a 18 °C</i>
<i>Ervilha</i>	<i>16 °C a 20 °C</i>
<i>Feijão</i>	<i>18 °C a 30 °C</i>
<i>Pimenta</i>	<i>20 °C a 25 °C</i>
<i>Tomate</i>	<i>20 °C a 24 °C</i>

Fonte: SOLER & PALAU, 2006.

Através da Tabela 2, pode-se verificar as faixas de temperaturas apropriadas para alguns tipos de hortaliças.

3.1.2 Umidade do ar

A umidade relativa do ar, significa o percentual de água na forma de vapor existente na atmosfera no momento em relação ao total máximo que poderia existir, na temperatura observada (CGE, 2017). Principalmente próximo ao final do inverno e no começo da primavera, nos períodos da tarde a umidade do ar é mais baixa e, encontra-se mais alta após precipitações ou quando a temperatura diminui ou há presença de orvalho. Também em áreas florestadas, próximas aos rios ou represas.

Ao ser implementado o controle de umidade evita que a hortaliça em um sistema com baixa umidade do ar, transpire em excesso e venham a inibir a fotossíntese, além disso, evita-se o aparecimento de folhas secas ou mortas, que são sinais de desidratação. Já o nível de umidade acima do tolerado da planta dificulta a evaporação, assim acarretando o desenvolvimento de doenças ou pragas (BRANDÃO FILHO; CALLEGARI, 1999).

A Tabela 3 exhibe uma faixa de umidade do ar recomendada para o crescimento de algumas hortaliças em ambientes protegidos:

Tabela 3 - Umidade do ar ideal para hortaliças elencadas.

Hortaliça	Umidade do Ar Recomendada
Acelga	60 a 70 %
Aipo	65 a 80 %
Alface	60 a 80 %
Ervilha	65 a 75 %
Feijão	60 a 75 %
Pimenta	50 a 60 %
Tomate	50 a 60 %

Fonte: SOLER & PALAU, 2006.

3.1.3 Luminosidade

A luz é fundamental para a sobrevivência das plantas, pois através do fenômeno da fotossíntese, as plantas transformam moléculas de água e dióxido de carbono em energia química e liberam simultaneamente o oxigênio. (HOPKINS, 2006)

Denota-se luminosidade, como a quantidade de luz incidente nas plantas. Sendo de suma importância para a sobrevivência, crescimento e desenvolvimento de qualquer planta.

3.1.4 Irrigação

O desenvolvimento de uma planta está intrinsecamente dependente da água por ser fundamental para o processo da fotossíntese. Além disso, a água auxilia no controle da temperatura e umidade ambiente.

Em estufas, a irrigação por ser compreendida de duas formas, a manual e a automática. Sendo que automatização do processo visa eficiência no controle e no uso dos recursos.

Existem diversos métodos de irrigação podem ser executados em um ambiente protegido, como a irrigação por subirrigação, onde as raízes estão submergidas, mas que possui um custo elevado. Existe a irrigação por aspersão, em que a água é liberada em forma de círculo ou semicírculo em torno da plantação, mas seu uso acarreta desperdício de água elevado. Há também a irrigação por gotejamento que fornece água em forma de gotas, proporcionando menores danos às plantas, melhor distribuição da água, menor custo e demanda pouca mão-de-obra, reduz risco de doenças, além de que, a terra não precisa de preparação (BEZERRA, 2003).

Opta-se pela irrigação de gotejamento na confecção deste projeto. Esta solução oferece diversas vantagens na produção de hortaliças, como menor volume de água necessário, menor custo e área para produção reduzida.

3.2 MICROCONTROLADOR

Um microcontrolador é um sistema computacional, no qual está incluída uma CPU (*Central Processor Unit*); memória de dados e programa, EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e/ou memória *Flash*, para armazenamento de dados; um sistema de *clock*; portas de I/O (*Input/Output*); além de

outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D (Analógico/Digital) entre outros, integrados em um mesmo componente (ANTONIO, 2006).

Para o projeto apresentado será utilizado o microcontrolador ATmega2560, através de uma placa Arduino MEGA.

3.2.1 Arduino MEGA

O Arduino faz parte do conceito de *hardware* e *software* livre e está aberto para uso e contribuição de toda comunidade. Utilizando uma linguagem de programação inteligível (C/C++), o Arduino é um *kit* de desenvolvimento, que pode ser visto como uma unidade de processamento computacional capaz de mensurar variáveis do ambiente externo, transformadas em um sinal elétrico correspondente, através de sensores ligados aos seus terminais de entrada. Por fim, ele pode ainda atuar no controle ou no acionamento de algum outro elemento eletroeletrônico conectado ao terminal de saída.

O Arduino MEGA 2560 r3, conforme Figura 5, possui 54 pinos entrada/saída digital, 6 podem ser utilizadas como saídas PWM, 16 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, conexão USB para programação, um conector de alimentação de energia, conector ICSP e um botão de reset. Sua estrutura é dedicada a suportar o microcontrolador ATmega2560 (ARDUINO.CC, 2017).

Figura 5 - Arduino MEGA



Fonte: (ARDUINO, 2017).

A Tabela 4 apresenta as especificações técnicas do Arduino MEGA:

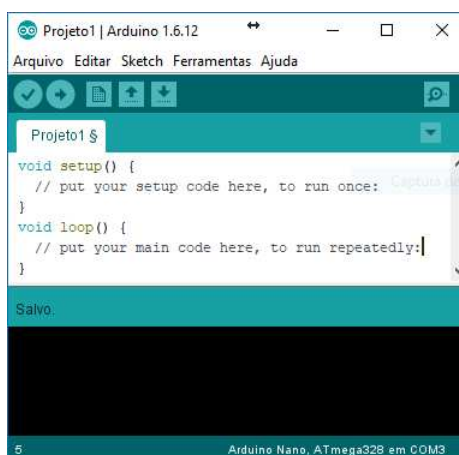
Tabela 4 - Tabela especificações Arduino MEGA.

Especificações Técnicas	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de Operação	5 V
Tensão de Entrada (recomendado)	7 - 12 V
Tensão de Entrada (limite)	6 - 20 V
Pinos I/O Digitais	54
Pinos I/O Digitais PWM	6
Pinos Entradas Analógicas	16
Corrente Contínua por Pino I/O	20 mA
Corrente Contínua por Pino 3,3 V	50 mA
Memória Flash	256 KB (ATmega2560) 8 KB são para o <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB (ATmega2560)
EEPROM	4 KB (ATmega2560)
Velocidade de Clock	16 MHz
Comprimento	101,52 mm
Largura	53.3 mm
Peso	37 g

Fonte: Autoria Própria.

A plataforma Arduino possui um *software* de código aberto denominado IDE, apresentado na Figura 6, permitindo criar códigos e carregá-los no microcontrolador. Para utilização do *kit* basta conectá-lo a um computador através de um cabo USB. Além de permitir comunicação com um PC, a porta USB também pode ser utilizada para alimentação de energia.

Figura 6 - IDE Arduino



Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 *Shield* de relés

O Arduino possui baixa tensão e corrente de saída, conforme Tabela 4, não sendo possível alimentar cargas que exigem maior potência, para isso, será utilizado um *Shield* de Relés, conforme ilustra a Figura 7. Uma placa que possui número variado de relés que podem ser utilizados para ativar de desativar circuitos elétricos.

Figura 7 - *Shield* de relés



Fonte: (USINAINFO, 2017).

Um relé é um interruptor eletromecânico. A movimentação física deste interruptor ocorre quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, criando assim um campo magnético que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos.

Cada relé presente no *shield* possui três pontos de conexão, sempre na mesma ordem, denominados NO, COM e NC, que funcionam da seguinte forma:

- Normalmente Aberto (NO - *Normally Open*): É o primeiro ponto de conexão do relé. É conectado o cabo de alimentação que vai até o equipamento que se deseja ligar. Quando o relé é energizado, é realizada a conexão do ponto COM ao NO, fechando o circuito, alimentando a carga;
- Conexão Comum (COM - *Common Connection*): É ponto do meio, deve ser conectado à fonte de alimentação, é o ponto comum aos terminais NO e NC;
- Normalmente Fechado (NC - *Normally Closed*): O último ponto se mantém em contato com o COM sempre que o relé se encontrar desenergizado, proporcionando um circuito aberto até que o relé seja energizado.

3.3 SENSORES

Termo empregado para designar dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada (medida), como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, dentre outras grandezas. (THOMAZINI, 2005)

Um sensor nem sempre apresenta as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

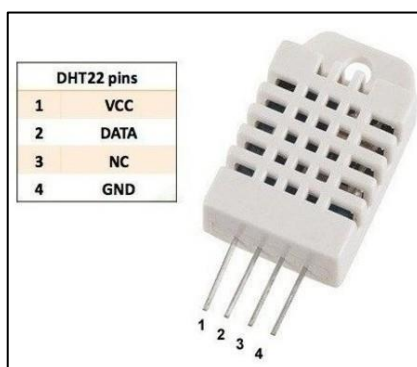
Para que seja possível controlar os parâmetros propostos (temperatura, irrigação, luminosidade), será necessário a utilização de sensores, sendo estes apresentados a seguir.

3.3.1 Sensor de temperatura e umidade do ar - DTH22

Optou-se pelo uso do sensor DHT22/AM2302, que apresenta conectividade com o Arduino e contempla em um único encapsulamento a medição de temperatura e umidade relativa do ar.

Trata-se de um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%, muito utilizado em placas Arduino e outros microcontroladores, pois possui apenas os pinos de alimentação e 1 pino de saída digital. Na Figura 8 é possível visualizar um sensor DHT22.

Figura 8 - Sensor de temperatura e umidade DHT22



Fonte: (ELECTRO SCHEMATICS, 2017).

O DHT22 é formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor utilizado para medir as condições climáticas do ar ao redor, enviando no pino de dados um sinal digital, sem a necessidade de utilização de entradas analógicas do microcontrolador (ELECTRO SCHEMATICS, 2017).

Abaixo são apresentadas as especificações técnicas do DHT22.

- Modelo: DHT22/AM2302
- Tensão de operação: 5 V DC
- Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR
- Faixa de medição de temperatura: -40° a +80 °C
- Corrente: 2,5 mA max durante uso, em *standby* de 100 μ A a 150 μ A
- Precisão de umidade de medição: \pm 2,0% UR
- Precisão de medição de temperatura: \pm 0,5 °C
- Resolução: 0,1%
- Tempo de resposta: 2 s
- Dimensões: 25 x 157 mm (sem terminais)

3.3.2 Sensor de umidade do solo - Higrômetro

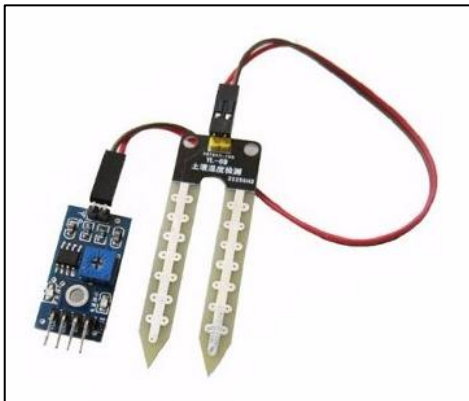
Este sensor é capaz de medir a umidade do solo, podendo operar com saída digital ou analógica. Quando o solo está com baixa umidade, a saída do sensor recebe nível lógico 1, e quando o solo está com umidade acima da considerada normal o sensor recebe nível lógico 0. Sendo, que os parâmetros de baixa e normal umidade serão introduzidos via programação e que por sua vez dependerá do tipo de hortaliça,

O limite entre seco e úmido pode ser ajustado através do potenciômetro presente no sensor que ajustará o ponto exato em que a saída digital D0 alternará seu estado. Uma opção para se obter melhor resolução é utilizar a saída analógica A0 e, conectá-la a um conversor AD ou entrada analógica, como os presentes nas placas Arduino (CYTRON TECHNOLOGIES, 2015).

Este sensor utiliza duas pontas de prova, como representado na Figura 9. Conforme a umidade do solo, esse passa a conduzir corrente e sua leitura é baseada na resistência elétrica do mesmo. Quanto mais água no solo, mais baixa é a

resistência deste e mais fácil fica a condução entre as pontas de prova. Quando o solo está seco, a condutividade é baixa, logo a resistência é alta.

Figura 9 - Sensor de umidade do solo



Fonte: (CYTRON TECHNOLOGIES, 2015).

As especificações do sensor são apresentadas abaixo:

- Tensão de Operação: 3,3 - 5 V
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital TTL (D0) e Analógica (A0)
- LED indicador de detecção de umidade
- Dimensões PCB: 30 mm x 16 mm
- Dimensões Sonda: 60 mm x 21 mm
- Comprimento Cabo: 20 cm

3.3.3 Módulo sensor de luminosidade – LDR

Para efetuar as medições de luminosidade da estufa, utilizou-se um sensor de luminosidade chamado de LDR, que é um resistor cuja resistência varia de acordo com a incidência de luz. Em ambientes escuros, sua resistência é elevada. Porém, conforme a luz incide sobre ele, sua resistência diminui (MCROBERTS, 2014).

Na Tabela 5 é utilizado um resistor de 10 k Ω (R1) como divisor de tensão, sendo possível assim constatar as variações nas tensões de saída em função da resistência do LDR, indicando a tensão de saída para diferentes níveis de iluminação.

Tabela 5 - V_{OUT} relacionado à variação de luminosidade no LDR.

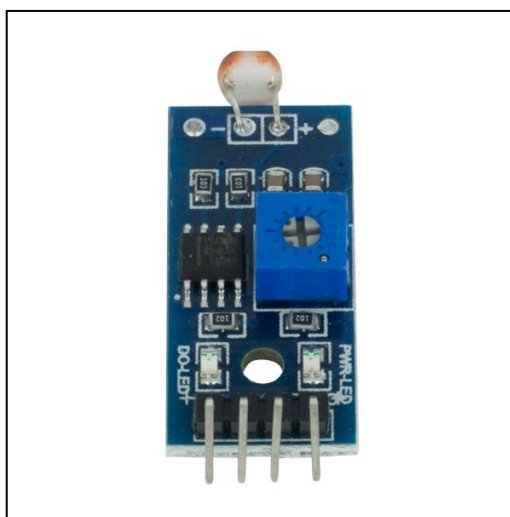
R_1 (k Ω)	R_{LDR} (k Ω)	V_{OUT} (V)	AMBIENTE
10	100	4,54	MAIS ESCURO
10	73	4,39	25%
10	45	4,09	50%
10	28	3,68	75%
10	10	2,5	MAIS CLARO

Fonte: Autoria Própria.

Apesar de não possuir alta precisão como um medidor de quantidade de luz no ambiente (tal como um luxímetro), ele será suficiente para a implementação do controle de luminosidade do projeto, pois permitirá a identificação de presença de luz no interior da estufa.

Este módulo, Figura 10, possui duas saídas, uma analógica e outra digital, tal como um potenciômetro para que seja aferido um valor de *setpoint*, caso a intensidade de luz esteja com um valor menor do que o valor ajustado no potenciômetro, a saída do sensor obterá nível lógico alto, já quando a intensidade de luz é maior do que o valor ajustado, a saída digital estará em nível lógico baixo.

Figura 10 - Sensor LDR



Fonte: FILIPEFLOP (2019).

3.3.4 Sensor de nível de água

Os sensores de nível são utilizados para o controle de líquidos ou grãos sólidos, contidos em reservatórios, silos, tanques abertos. São úteis na detecção de um nível

fixo (chave de nível – alarma ou sinaliza, quando atinge um determinado ponto) e na medição contínua (THOMAZINI, 2006).

O sensor de nível escolhido para o projeto funciona como uma chave liga-desliga que pode enviar um sinal para o microcontrolador, neste caso o Arduino. Pode ser utilizado tanto na parte superior do recipiente como na parte inferior, pois possui um anel de vedação (*o-ring*) e travamento por porca. Este modelo de sensor deve ser instalado na posição vertical.

A Figura 11 apresenta o sensor de nível que será utilizado no projeto.

Figura 11 - Sensor de nível de água



Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

3.4 ATUADORES

Um atuador assim como um sensor é um transdutor que transforma uma forma de energia em outra, porém este faz o caminho inverso. Ao invés de transformar partes de uma grandeza física em um sinal elétrico, ele transforma um sinal elétrico em uma grandeza física, movimento, magnetismo, calor entre outros (PAZOS, 2002).

Os atuadores utilizados no projeto serão apresentados a seguir.

3.4.1 Eletrobomba de água

A irrigação será realizada através de uma eletrobomba utilizada em limpadores de pára-brisa. Esse dispositivo foi desenvolvido para projetos de automação baseado em plataformas microcontroladas, entre elas, o Arduino.

Assim que alimentada, o conjunto girante da eletrobomba, se movimentado, faz com que o rotor colete o líquido, que geralmente está num depósito, conhecido como cisterna ou reservatório, para a entrada da minibomba, mais conhecida como sucção.

Ao chegar no rotor, o líquido é jogado nas paredes internas da carcaça, onde ele é pressionado para a saída da eletrobomba, chamada de descarga ou recalque. A partir da saída o líquido pode ser conduzido a outro depósito, reservatório ou sistema de acordo com sua aplicação.

A Figura 12 apresenta a eletrobomba de água que será utilizada no projeto.

Figura 12 - Eletrobomba de água



Fonte: (GERHA, 2019).

A seguir serão apresentadas as especificações da bomba de água fornecidas pelo fabricante:

- Modelo: DK82031
- Tensão nominal: 12 V
- Corrente sem carga: 0,6 A
- Corrente em máxima eficiência: ~ 2 A
- Altura de aspiração máxima: 2 m
- Elevação máxima: 3 m
- Vazão de água máxima: ~ 1,5 a 2 L/m
- Diâmetro de entrada e saída: ~ 7,6 mm
- Diâmetro do motor: 28,6 mm
- Comprimento da bomba: 90 mm
- Peso: 100 g

3.4.2 Cooler fan

Para o controle da temperatura no interior da estufa serão utilizados *cooler fans*, Figura 13. Estes são pequenos ventiladores, utilizados comumente em computadores, entretanto, nos últimos anos, tem sido amplamente empregado no desenvolvimento de projetos em plataformas microcontroladas, entre elas, o Arduino.

A função do *cooler*, no projeto, será promover a troca de calor entre os ambientes interno e externo da estufa, para que seja possível o controle da temperatura interna. A estufa contará com dois *coolers*, um ventilador e um exaustor.

Figura 13 - Cooler fan



Fonte: (USINAINFO, 2017).

As especificações fornecidas pelo fabricante são apresentadas abaixo:

- Tensão: 12 V;
- Corrente: 0,15 A \pm 10%;
- Consumo de energia: 1,32 W \pm 10%;
- Velocidade: 2500 \pm 10% RPM;
- Fluxo de ar: 25,02 CFM;
- Pressão por polegada: 0.08;
- Nível de ruído: <28 dBA;
- Durabilidade: 35.000 Horas;
- Dimensão (CxLxA): 80 x 80 x 25 mm;
- Peso: 57 g.

3.4.3 LED para iluminação

Assim como os processos de irrigação e controle de temperatura, o controle de iluminação é fundamental para um bom desenvolvimento das plantas. Para isso, no projeto, serão utilizados LEDs para suprir a necessidade de luz.

Para isso será utilizado uma barra de LEDs SMD, que terá a função de fornecer luz artificial ao interior da estufa. A Figura 14 apresenta o modelo que será utilizado no protótipo.

Figura 14 - Barra de LEDs



Fonte:(USINAINFO, 2017).

As especificações do modelo selecionado são apresentadas a seguir:

- LED: 5630 SMD
- Quantidade de LED: 72pcs/metro
- Ângulo de feixe: 140 graus
- Dimensão: 1000 x 12 x 1,5 mm
- Fluxo Luminoso: 2100 lumens/metro
- Temperatura de cor: 6500 ~ 7000 K
- Tensão nominal: 12 V DC;
- Potência de saída: 25 W/m
- Tempo de vida: 50.000 horas

3.4.4 Pastilha de Peltier

Pastilhas termoelétricas com efeito Peltier, conforme Figura 15, são constituídas através de semicondutores tipo-n e tipo-p, que são soldados entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo.

Figura 15 – Pastilha de Peltier



Fonte:(FILIPEFLOP, 2019).

Através da aplicação de corrente elétrica em seus terminais, um diferencial de temperatura ocorre entre as duas placas de cerâmica, ou seja, ocorre o aquecimento na “junta quente” e o resfriamento na “junta fria”, havendo assim uma troca de calor de um lado para outro da pastilha e, possibilitando a transferência de calor do ambiente no entorno da junta fria da pastilha para a junta quente, conforme é verificado na Figura 16.

Figura 16 – Transferência de calor na pastilha de Peltier



Fonte:(PELTIER, 2019).

Como não há absorção do calor, faz-se necessário o uso de dissipadores de calor em ambas as superfícies da pastilha.

A seguir são mostradas as especificações pastilha de Peltier :

- Faixa de temperatura: -30 a 70 °C;
- Tensão de operação: 0 a 15 V;
- Corrente de operação: 0 a 6 A;

- Potência máxima: 60 W;
- Dimensões: 40 x 40 mm;

3.5 IHM

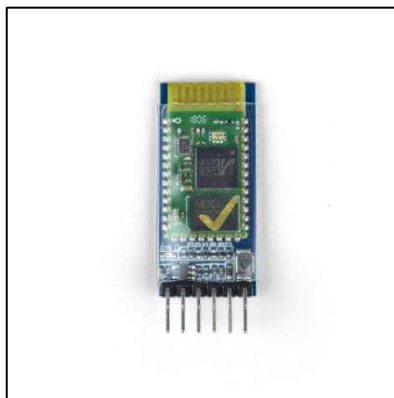
A interface homem-máquina (IHM) inclui todos os dispositivos necessários para sinalizar e controlar o estado dos equipamentos para automação. Esses produtos de interface podem variar de indicadores LED de status básico, botões, *display* LCD ou até uma tela TFT com interface sensível ao toque (ATMEL, 2017).

A interação entre o sistema e o homem será realizada através dos dispositivos abaixo.

3.5.1 Módulo *bluetooth*

Este módulo de comunicação sem fio, Figura 17, foi desenvolvido para enviar e receber dados via Bluetooth sem que seja necessário conectar um cabo serial no computador. Importante destacar que este módulo possibilita comunicação com diversos sistemas operacionais (Windows, IOS, Android).

Figura 17 – Módulo *bluetooth*



Fonte:(ROBOCORE, 2019).

Comumente utilizado na criação de redes para trocas de informações, é capaz de trabalhar em dois modos distintos: Master (mestre) e *Slave* (escravo). Cada um dos 2 modos possui diferentes finalidades, o modo mestre é utilizado para se conectar a outros dispositivos, já o modo escravo serve apenas para receber conexões.

Neste módulo há um regulador de tensão, que permite que a alimentação seja entre 3,3 a 5 V, além de um LED indicando se o módulo encontra-se pareado com outro dispositivo.

A seguir são apresentadas as especificações deste dispositivo:

- Antena embutida;
- Alcance de até 10 m;
- Protocolo Bluetooth: v2.0+EDR;
- Firmware: Linvor 1.8;
- Frequência: 2,4GHz Banda ISM;
- Modulação: GFSK;
- Emissão de energia: ≤ 4 dBm, Classe 2;
- Sensibilidade: ≤ 84 dBm com 0,1% BER;
- Velocidade Assíncrono: 2,1 Mbps (Max)/160 Kbps;
- Velocidade Síncrono: 1 Mbps/1 Mbps;
- Segurança: Autentificação e Encriptação;
- Perfil: Porta Serial Bluetooth;
- CSR chip: Bluetooth v2.0;
- Banda de Onda: 2,4 Hz-2,8 GHz, Banda ISM;
- Tensão: 3,3 V – 5 V;
- Corrente: Pareado 35 mA;
- Corrente: Conectado 8 mA;
- Temperatura: -40 ~ +105 °C;
- *Baud Rate*: 4800; 9600; 19200; 38400; 57600; 115200; 230400; 460800; 921600; 1382400;
- Dimensões: 26,9 x 13 x 2,2 mm;
- Peso: 9,6g;

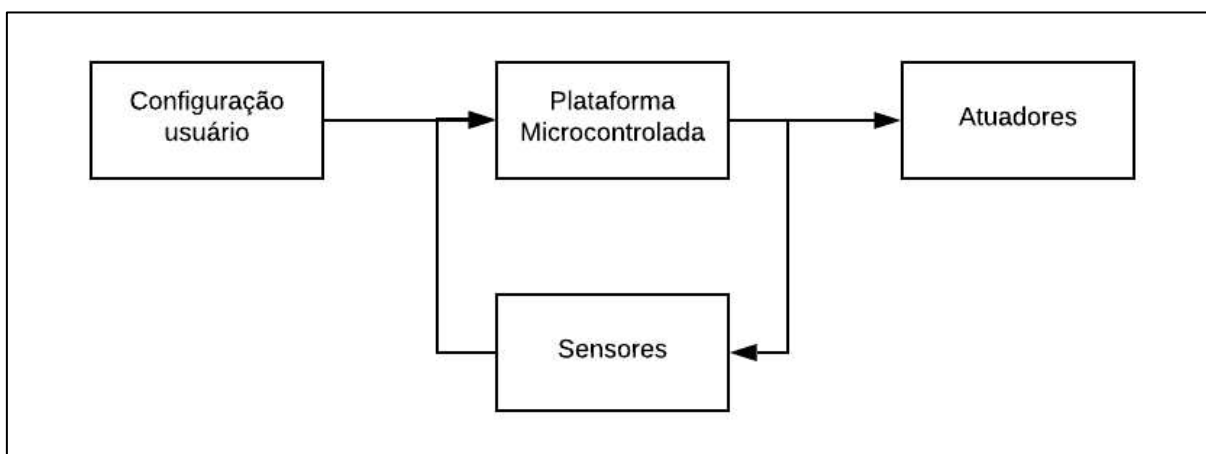
4. ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

Neste capítulo serão retratadas as características do sistema e seu modo de funcionamento.

4.1 TOPOLOGIA DO SISTEMA

O sistema proposto pode ser observado através do diagrama de blocos apresentado na Figura 18. Os blocos apresentados são compostos pelos dispositivos apresentados no capítulo anterior.

Figura 18 - Topologia do sistema



Fonte: Autoria Própria.

Em um primeiro momento o operador do protótipo deverá, através da interface IHM, inserir os parâmetros de referência do sistema. Estes são, temperatura, tempo de exposição à luminosidade e ciclo de irrigação. É importante lembrar que esta configuração deve respeitar as condições ideais de cultivo da planta selecionada.

O microcontrolador, Arduino MEGA, irá realizar a aquisição dos dados referentes ao microclima no interior da estufa (temperatura ambiente, umidade do solo, luminosidade). Os sensores serão responsáveis por alimentar estes dados.

A partir deste momento o microcontrolador, com base nos valores configurados pelo usuário e nos dados adquiridos pelos sensores, realizará o controle das variáveis de saída, por meio dos atuadores.

Todos os parâmetros de configuração, tal como os valores adquiridos pelos sensores serão apresentados na IHM através da seleção de menus.

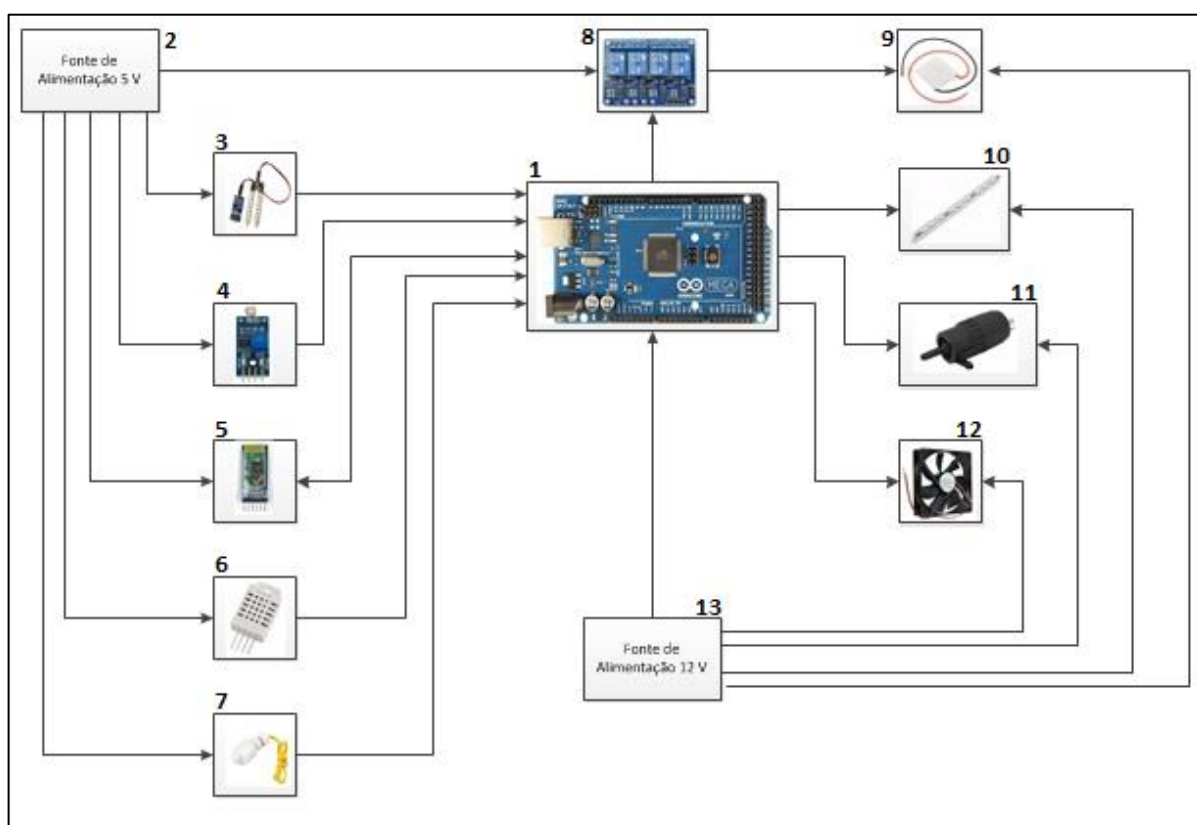
Outro fator importante é referente ao reservatório de água. O sistema possui sensor de nível de reservatório e, apenas operará quando o mesmo estiver abastecido, evitando assim avarias no sistema de irrigação.

4.2 ESBOÇO DO PROJETO

Para o sistema proposto, foi desenvolvido um projeto, com base no *hardware* apresentado e nas estufas encontradas no mercado.

O diagrama abaixo apresenta os principais dispositivos que serão utilizados no protótipo, tal como os fluxos dos sinais utilizados no controle do sistema.

Figura 19 - Esboço hardware



Fonte: Autoria Própria.

Os dispositivos apresentados na Figura 19 são relacionados a seguir:

1. Arduino MEGA;
2. Fonte de alimentação 5 V;
3. Sensor de umidade do solo YL-69;
4. Módulo sensor de luminosidade LDR;

5. Módulo *bluetooth*;
6. Sensor de Temperatura DTH22;
7. Sensor nível de água;
8. Módulo *shield* de relés;
9. Pastilha de Peltier;
10. Barra de LEDs 12 V;
11. Eletrobomba 12 V;
12. *Cooler* 12 V;
13. Fonte de alimentação 12 V.

Será utilizada uma fonte chaveada de 12 V / 10 A para alimentar todo o sistema (Arduino, *Shield* e Atuadores). Porém, para a alimentação dos sensores será utilizado um circuito regulador de tensão de 5 V.

Foi definido também, com base nas estufas apresentadas no capítulo 2, as dimensões do protótipo. O equipamento desenvolvido contará com 70 x 45 x 48 cm (AxLxP). O modelo 3D do protótipo é apresentado na figura abaixo.

Figura 20 - Modelo 3D estufa doméstica



Fonte: Autoria Própria.

A base do equipamento alojará o reservatório de água, as faces frontal e superior serão de material parcialmente transparente, a estrutura do protótipo será construída de MDF. Os materiais escolhidos visam minimizar o custo do projeto e garantir qualidade e durabilidade.

5. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo descreve as atividades que foram desenvolvidas para a elaboração do protótipo da Estufa Automatizada. Também inclui as ações que foram adotadas para a coleta de dados do sistema, para posterior análise da resposta do mesmo.

De acordo com as especificações apresentadas no Capítulo 4, os componentes necessários para a montagem do protótipo podem ser classificados em:

1. Estrutura:
 - a. Estrutura principal;
 - b. Vasos;
 - c. Reservatório de água.
2. Controlador:
 - a. Arduino MEGA;
 - b. Módulo *bluetooth*.
3. Sensores:
 - a. Sensor temperatura;
 - b. Sensor de umidade do solo;
 - c. Sensor de luminosidade;
 - d. Sensor de nível.
4. Atuadores:
 - a. Coolers;
 - b. Pastilha de Peltier;
 - c. LED;
 - d. Bomba de água;
5. Fonte de alimentação;
6. Cabos e conectores.

O protótipo foi desenvolvido em 4 etapas:

1. Desenvolvimento da estrutura mecânica da estufa;
2. Projeto e implementação de *hardware*;
3. Desenvolvimento do *software* Arduino e MIT App Inventor;
4. Testes e coleta de dados.

5.1 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA MECÂNICA DA ESTUFA

O desenvolvimento do protótipo se deu a partir da estrutura mecânica, responsável por alojar os vasos, reservatório de água, assim como todos os componentes eletrônicos utilizados no sistema. A Figura 21 apresenta o reservatório de água e o vaso utilizado no sistema.

Figura 21 - Reservatório e água e vaso

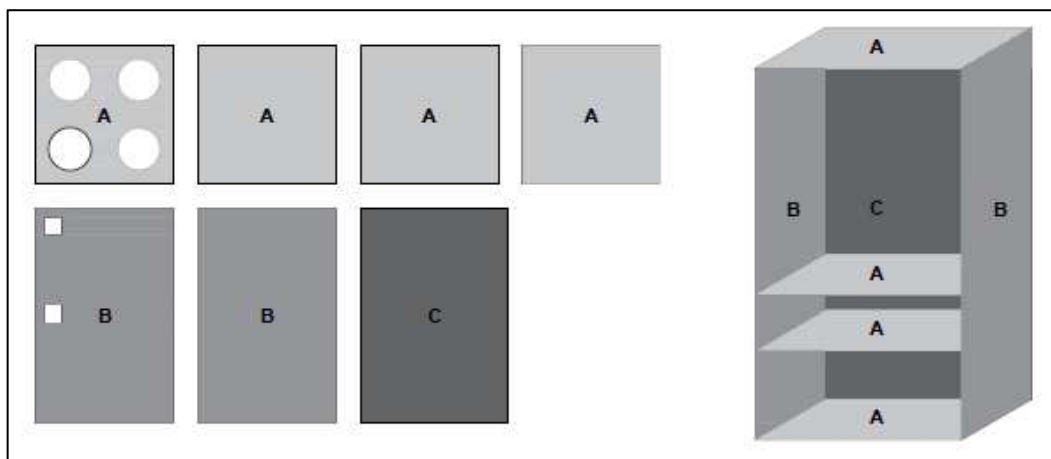


Fonte: Autoria própria

Conforme definido no capítulo anterior, o MDF foi o material escolhido para a estrutura da estufa. A escolha se deu principalmente por conta do custo, e facilidade de aquisição e manipulação deste material. (A) 4 chapas de 450x450 mm, (B) 2 chapas de 700x450 mm e (C) 1 chapa de 700x480 mm (espessuras de 15 mm) foram utilizadas para a construção da estrutura.

Foi necessário retrabalhar as chapas uma chapa A e uma B para a instalação dos coolers, utilizados para o controle de temperatura/ventilação, e para instalação dos vasos respectivamente.

A Figura 22 apresenta o esboço desenvolvida na fase de projeto, já a Figura 23 apresenta a estrutura real, retrabalhada e montada.

Figura 22 - Esboço estrutura estufa

Fonte: Autoria própria

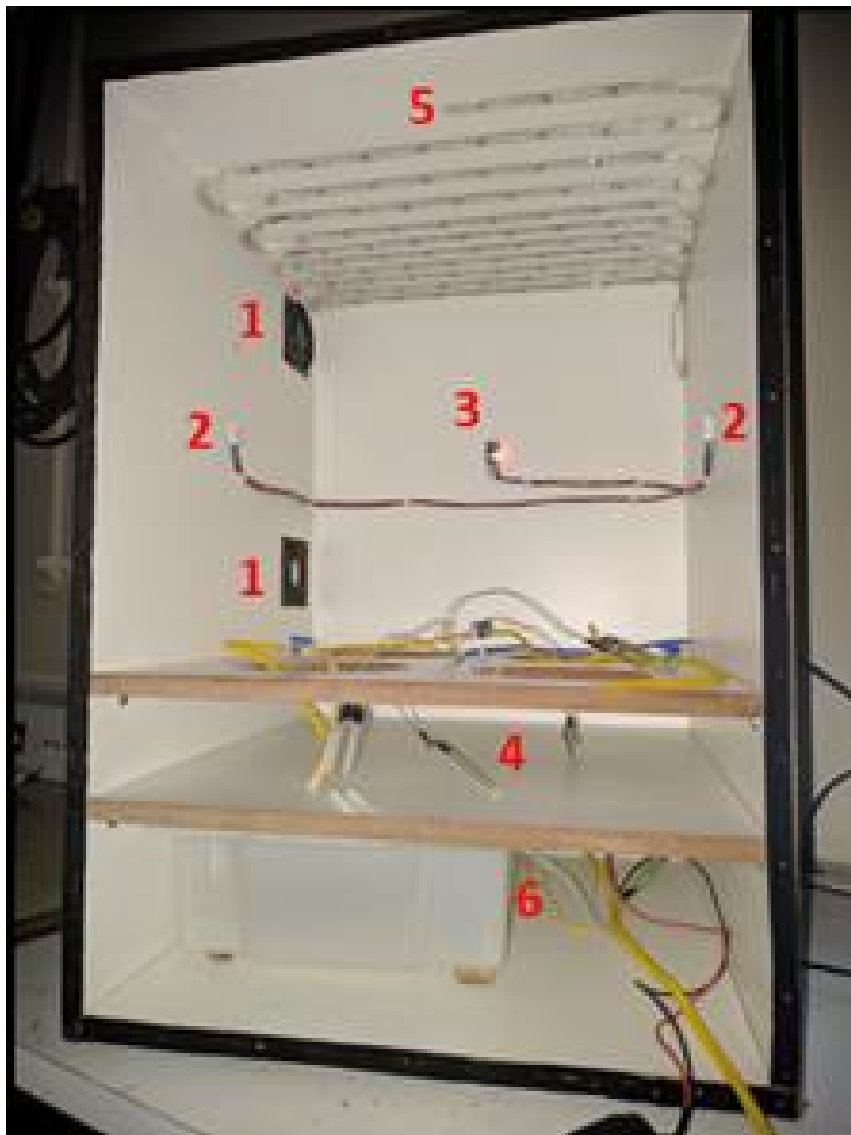
Figura 23 - Estrutura estufa montada

Fonte: Autoria própria

Uma vez que a parte estrutura da estufa estava concluído, foi possível iniciar a instalação dos demais componentes. Além de definidas as posições para cada componente, iniciou-se, em paralelo, o trabalho de construção da estrutura composta por cabos e conectores elétrico utilizados para integração de componentes do sistema.

As figuras 24 e 25 apresentam a estufa com todos os sensores e atuadores instalados.

Figura 24 - Estufa instrumentada



Fonte: Autoria própria

Figura 25 - Estufa instrumentada ativa



Fonte: Autoria própria

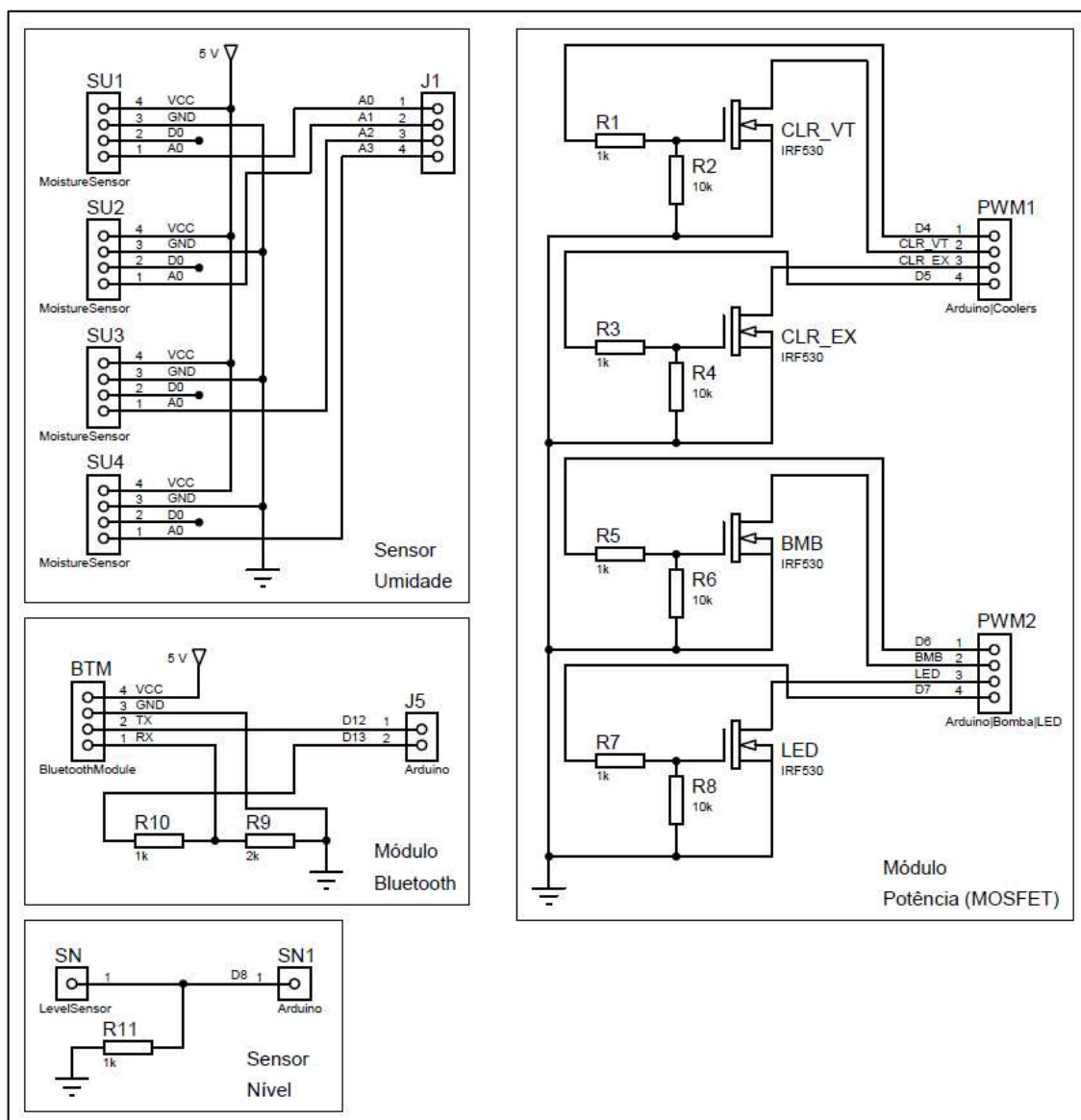
Ainda nas figuras anteriores, é possível identificar os componentes presentes na estufa, conforme relação abaixo:

1. Coolers (ventilador/exaustor);
2. Sensores de temperatura DHT22;
3. Sensor de luminosidade LDR;
4. Sensores de umidade do solo;
5. LEDs de alta potência;
6. Sensor nível reservatório;
7. Bomba hidráulica;
8. Tubos de irrigação.

5.2 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE *HARDWARE*

Visando garantir uma interface funcional entre a plataforma microcontrolada, Arduino Mega, e todos os demais componentes do sistema, sejam sensores, atuadores e módulo de comunicação, foi desenvolvido um circuito eletrônico. Este é apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Diagrama do circuito eletrônico interface com plataforma microcontrolada

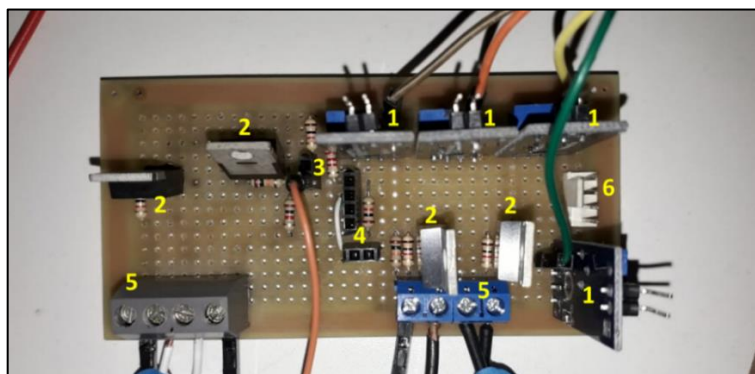


Fonte: Autoria própria

O circuito apresentado acima foi montado em uma placa de fenolite (Padrão de circuito impresso perfurada), e esta é apresentada na Figura 27. Foi realizado a numeração dos principais itens da placa, a fim de identificá-los, a relação é apresentada a seguir:

1. Sensores de Umidade;
2. IRF540 (MOSFET);
3. Interface Sensor de Nível;
4. Interface Módulo BT;
5. Interface PWM Arduino/Atuadores;
6. 5 V / GND.

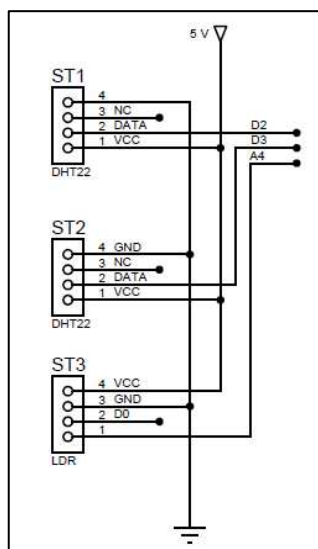
Figura 27 - Protótipo do circuito eletrônico



Fonte: Autoria própria

Além de todos os componentes contemplados pelo diagrama apresentado na figura acima, existem dois sensores que foram ligados diretamente à plataforma microcontrolada, são os sensores de temperatura (DHT22) e o sensor de luminosidade (LDR). Estes sensores foram conectados ao sistema conforme o diagrama apresentado na Figura 27.

Figura 28 - Diagrama conexão sensores DHT22 e LDR



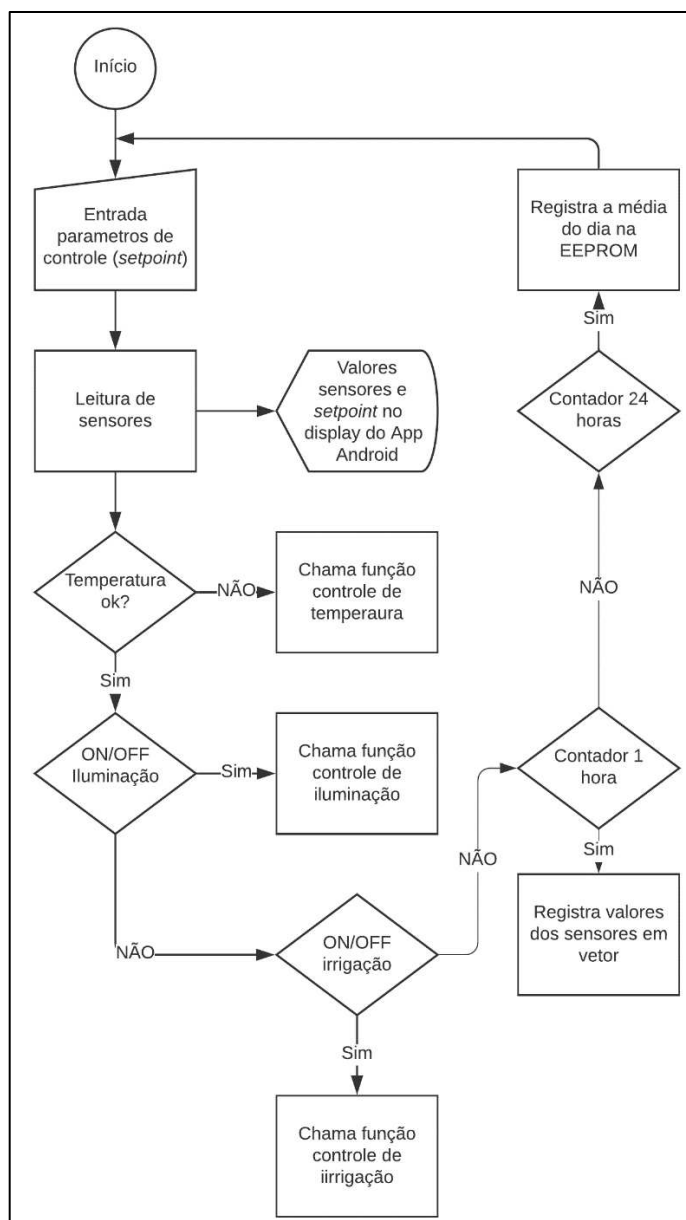
Fonte: Autoria própria

5.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Para a elaboração do software de controle do sistema, Estufa Automatizada, foi utilizada a plataforma Arduino IDE, que é um *software open-source*, ou seja, disponibilizado de forma gratuita e com código aberto para a comunidade desenvolvedora (ARDUINO, 2019).

A plataforma utilizada foi o Arduino Mega, cujo processado é um Atmel 2560. O código do programa desenvolvido é apresentado no apêndice A. A Figura 29, a seguir, apresenta o diagrama de funcionamento do software de controle do sistema.

Figura 29 - Fluxograma software de controle do sistema



Fonte: Autoria própria

O software desenvolvido, para o controle do protótipo pode ser subdividido em blocos, de acordo com sua função. A Estufa Automatizada é capaz de realizar o controle de temperatura, irrigação e iluminação, considerando que cada uma destas características controladas constitui um subsistema, deve-se assumir os seguintes blocos, para um melhor entendimento do programa:

1. Controle de temperatura;
2. Controle de irrigação;
3. Controle de iluminação.

5.3.1 Controle de temperatura

O cerne do trabalho visa contemplar o controle de temperatura sem foco na identificação do sistema.

A temperatura é um parâmetro muito importante para o desenvolvimento adequado (qualidade e tempo) de diversas culturas. Buscando atender a uma grande variedade de hortaliças, pequenas frutas, entre outras plantas, o sistema possui dois sensores de temperatura, instalados no interior da estufa. O controlador calcula o valor médio da temperatura registrada pelos dois sensores e, com base na temperatura de *setpoint*, determina a necessidade de acionar o sistema de ventilação que, por sua vez, realiza a manutenção da temperatura no interior da estufa.

Neste projeto, o sistema estará atuante em tempo integral, a fim de mitigar o erro do sistema, no caso a variação da temperatura durante o processo de crescimento da planta. No qual é composto por:

- Atuador: coolers de exaustão, ventilação e conjunto da pastilha de Peltier;
- Compensador: algoritmo do sistema de controle que utiliza a diferença entre a variável de processo e o *setpoint*;
- Feedback: ou realimentação, é utilizada num sistema para manter a variável de controle próxima do valor desejado por conta dos distúrbios compensando imprecisões no modelo do processo, erros de medição e distúrbios não mensurados;
- *Setpoint*: representa a linha almejada para a variável a ser controlada;
- Sistema: estufa

Para que possa ser realizado o controle desta planta, será incluído um controlador PID a fim de proporcionar uma resposta rápida e de erro estacionário quase nulo. Primeiramente analisaremos cada termo deste controlador, como pode ser observado na equação (1).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

O PID é um algoritmo de controle amplamente utilizado no controle industrial devido ao seu desempenho robusto numa variedade de condições de funcionamento e em sua característica simples, que permite uma operação de forma simples e direta.

A simplicidade é um dos motivos de se implementar um controlador proporcional. Temos que relação entre a saída do controlador e o sinal de erro atuante é dada por K_P é denominado ganho proporcional. O aumento do ganho proporcional acelera a resposta e tende a diminuir os erros em regime permanente e reduzem os efeitos de distúrbios e a sensibilidade à variação no sistema, no entanto, geralmente irão persistir os distúrbios e erros em estado estacionário. Além de que, o aumento excessivo do ganho pode levar o sistema em malha fechada à instabilidade e amplificação indesejada de ruídos de medidas presentes no sistema.

Incluindo a parte integrativa ao sistema há a redução ou eliminação de erros em estado estacionário (alterando o tipo do sistema). Além disso, a ação integral acelera o movimento do processo em direção ao *setpoint* eliminando ou diminuindo o erro residual que ocorre com o controlador proporcional. Porém, o termo integral isolado acumula os erros do passado, provocado aumento no sobressinal tornando o sistema menos estável.

O controlador derivativo depende da taxa de variação do erro, melhora o amortecimento, reduz o máximo sobressinal e diminui o tempo de estabilização. Mesmo opondo-se a todas as variações, o controlador derivativo tem um grande efeito estabilizante, mas não melhora o erro em regime. Além disso, pode amplificar o ruído a alta frequência.

A variável do processo, ou seja, o parâmetro que precisa ser controlado, neste caso é a temperatura, para isso o sensor DHT22 irá medir a variável e então fornecer

um *feedback*. O erro nesse sistema, é a diferença entre a variável do processo e o *setpoint*. Este erro é usado para determinar a saída desejada dos atuadores.

O *setpoint* de temperatura é definido pelo usuário, é importante observar que, para o plantio de múltiplas culturas deve-se buscar temperaturas próximas, para que o desenvolvimento de uma delas não seja comprometido. Uma vez definido o *setpoint* de temperatura, o sistema atuará 24 horas por dia, garantindo a temperatura ideal no interior da estufa.

5.3.2 Controle de irrigação

Assim como a manutenção da temperatura, a umidade do solo também é um parâmetro fundamental para o desenvolvimento das plantas.

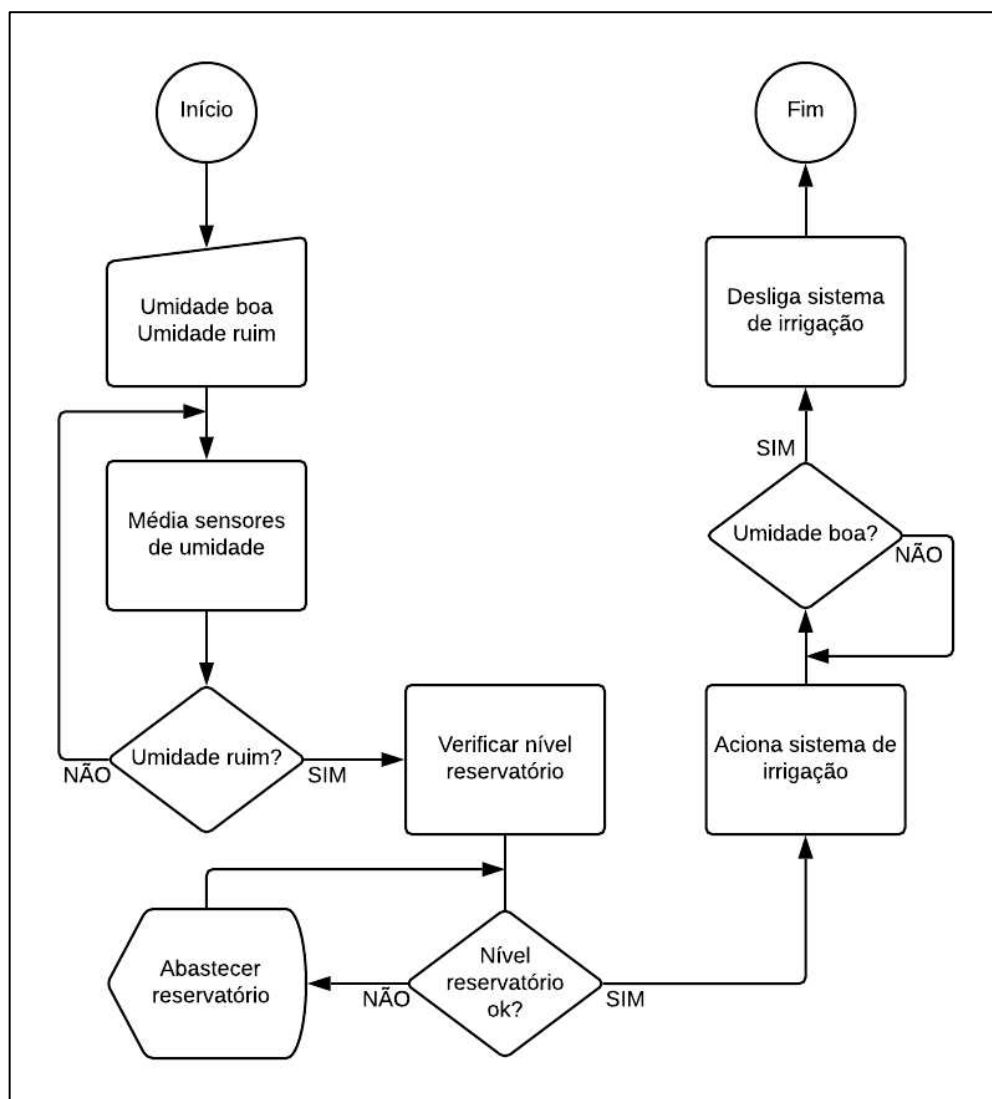
O subsistema comporta até 4 vasos (4 plantas) no interior da estufa, cada vaso é instrumentado com um sensor de umidade do solo. O controlador realiza a leitura de cada um dos sensores e calcula o valor médio da umidade de solo. O usuário deve configurar dois parâmetros de funcionamento deste subsistema, umidade boa e umidade ruim.

Sempre que a umidade for inferior à umidade ruim, o sistema de irrigação entrará em funcionamento. O controlador vai acionar uma bomba hidráulica e a irrigação será realizada. O sistema de irrigação permanecerá ligado até que a umidade seja igual ao parâmetro umidade boa. Quando isto acontecer, o sistema de irrigação será desligado e voltará a ser acionado quando a média da umidade, registrada pelos sensores, voltar a ser inferior ao parâmetro umidade ruim, repetindo assim o ciclo descrito acima.

O subsistema de irrigação conta ainda com um sensor de nível, responsável por informar o usuário a necessidade de reabastecimento do reservatório de água. A autonomia do reservatório de água está relacionada com a umidade demandada pela cultura em desenvolvimento.

A Figura 29 apresenta o fluxograma que descreve o funcionamento do subsistema de irrigação.

Figura 30 - Fluxograma funcionamento subsistema de irrigação



Fonte: Autoria própria

5.3.3 Controle de iluminação

O último, porém, não menos importante parâmetro controlado pelo sistema é a iluminação. Junto à temperatura e umidade do solo, são as características mais importantes quando se diz respeito desenvolvimento de culturas vegetais.

O subsistema controle de iluminação demanda apenas dois parâmetros do usuário, o primeiro deles é o tempo de exposição à iluminação e o segundo é a intensidade (controlado por PWM) da mesma.

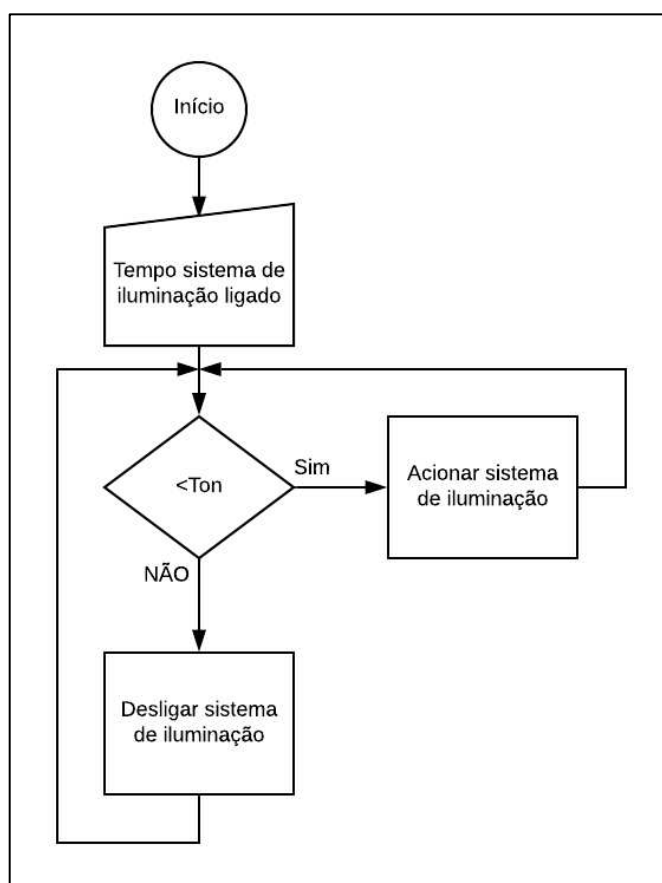
Para controlar o tempo de exposição à iluminação o usuário deve fornecer o tempo, em horas, ao qual a planta será submetida à iluminação. Já o parâmetro

intensidade luminosa requer um conhecimento mais avançado sobre a cultura em desenvolvimento, para determinação da mesma. Para os testes realizados com o protótipo, a potência dos LED foi mantida em 100%.

Por fim, o sistema conta também com um sensor LDR, utilizado como um sensor de *feedback* para identificar se a iluminação está ligada ou não, uma vez que nem sempre o usuário estará observando em que condições está o sistema.

Este subsistema é bastante simples comparado aos dois anteriores. A Figura 30 apresenta um fluxograma que descreve o funcionamento do mesmo.

Figura 31 – Fluxograma funcionamento sistema de iluminação



Fonte: Autoria própria

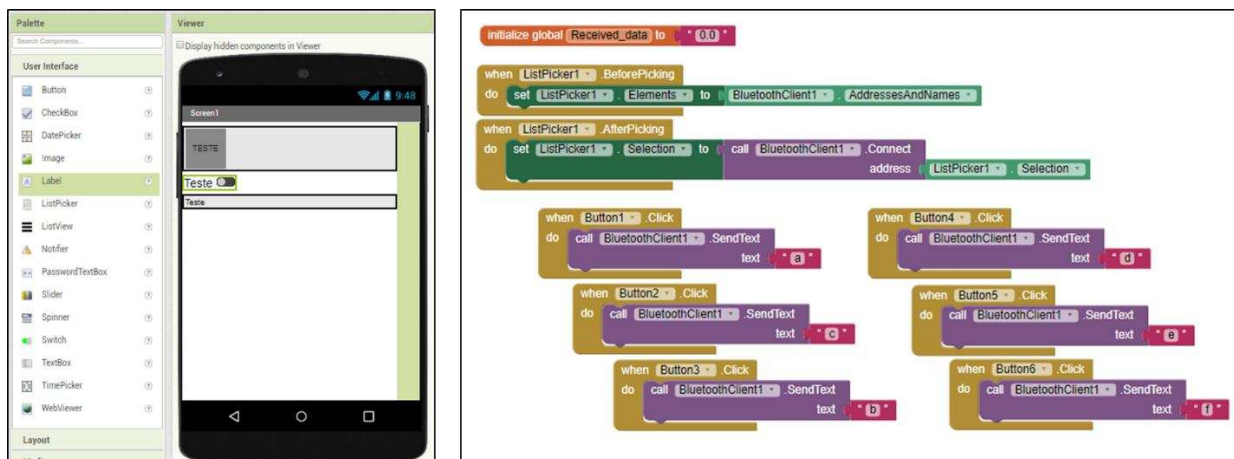
5.4 DESENVOLVIMENTO INTERFACE COM O USUÁRIO

A interface com o usuário é, também, de fundamental importância no sistema da Estufa Automatizada. É através dela que o operador pode ajustar os parâmetros a serem controlados e, também pode acompanhar como está o desenvolvimento das culturas.

Para o desenvolvimento deste bloco do sistema, optou-se por criar uma aplicação Android capaz de estabelecer comunicação serial, via *bluetooth*, com a plataforma microcontrolada Arduino Mega. Para tal, foi utilizado o sistema MIT App Inventor.

O MIT App Inventor é um ambiente de programação visual e intuitivo que permite o desenvolvimento de aplicativos, totalmente funcionais, para smartphones e tablets, ver Figura 31. A ferramenta de desenvolvimento é baseada em blocos, facilitando a criação até mesmo dos aplicativos mais complexos e diminuindo significativamente o tempo de desenvolvimento se comparado a ambientes de programação tradicionais (MIT APP INVENTOR, 2019).

Figura 32 - Ambiente de desenvolvimento MIT App Inventor

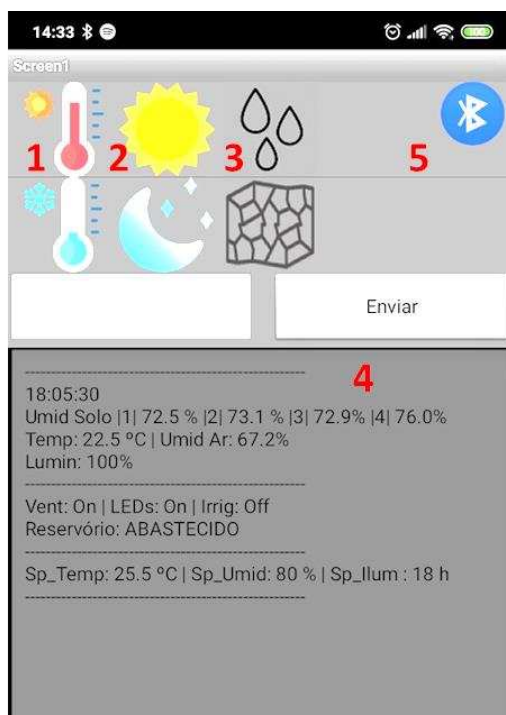


Fonte: Autoria própria

Através da aplicação desenvolvida, o usuário é capaz de ajusta o *setpoint* de temperatura, umidade do solo e tempo de exposição à iluminação. A Figura 32 apresenta o layout da aplicação Android, a identificação dos itens do layout mostrado abaixo:

1. Ajuste *setpoint* temperatura;
2. Ajuste *setpoint* iluminação;
3. Ajuste *setpoint* de umidade;
4. Visualização de parâmetros do sistema (Monitor Serial);
5. Conectar com o módulo BT.

Figura 33 - Aplicativo android para interface com o sistema



Fonte: Autoria própria.

5.5 PROCEDIMENTO DE TESTES

Com o objetivo de aferir o desempenho do sistema com relação ao controle dos parâmetros mencionados nos itens anteriores, foi realizado a seleção de duas culturas de hortaliças e, estas foram plantadas na estufa.

Mesmo com as condições mais favoráveis de clima, solo, irrigação e exposição à luz proveniente do Sol, o tempo médio para o completo desenvolvimento de hortaliças é de 4 a 21 semanas, ou seja, o tempo entre o momento do plantio até a colheita pode levar até 5 meses, dependendo da cultura selecionada.

A Tabela 6 apresenta as características para o cultivo das culturas alface e salsinha, que foram escolhidas para o processo de teste do sistema.

Tabela 6 - Culturas selecionadas para testes do sistema

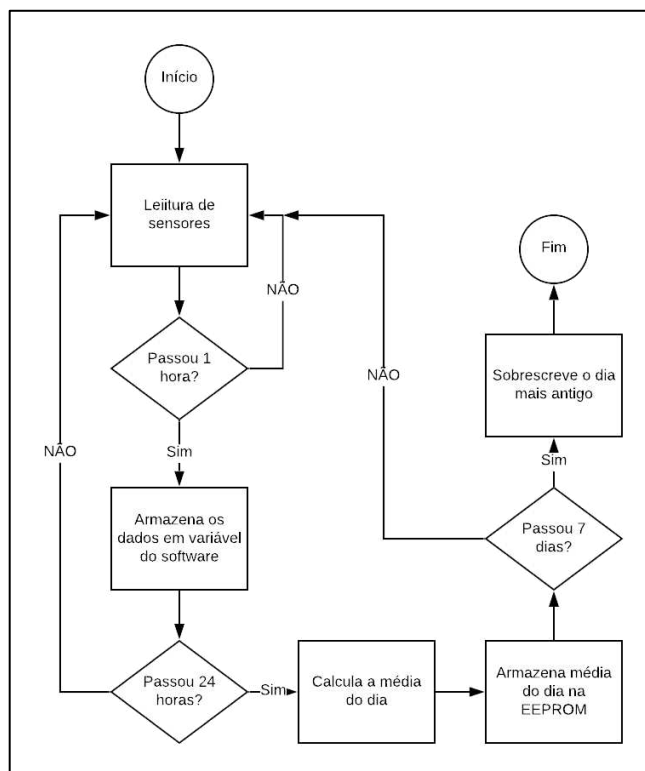
Cultura	Temperatura (°C)	Umidade solo	Plantio/colheita (dia)
Alface	14 a 18	50 a 80 %	60 a 90
Salsinha	12 a 22	60 a 80 %	60 a 90

Fonte: Autoria Própria.

Uma vez definidas as culturas plantadas, o usuário deve configurar o sistema visando atender às condições que sejam adequadas para as mesmas.

Para monitorar a performance do sistema, foi definido o seguinte fluxo para armazenamento de informações, estes por sua vez são mantidos na própria memória do microcontrolador. Visando garantir o funcionamento adequado do sistema, os dados de funcionamento do mesmo serão armazenados a cada hora em uma variável do *software*, ao completar 24 horas, a média do dia é calculada e armazenada na EEPROM. O registro da média diária é fica gravado por 7 dias na EEPROM do microcontrolador, sendo sobrescrita no 8º dia. A Figura 33 apresenta o fluxograma do processo descrito.

Figura 34 - Fluxograma armazenamento dados EEPROM



Fonte: Autoria própria.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados referentes aos testes realizados com o protótipo construído, da Estufa Automatizada, serão apresentados neste capítulo. Mantendo a coerência com o que já foi apresentado até então, os itens abordados neste capítulo serão: controle de temperatura, irrigação e luminosidade ao longo do tempo.

Os procedimentos realizados tiveram como objetivo verificar o funcionamento do sistema, com base nos parâmetros já mencionados. Para cada item a seguir será apresentada uma amostra dos testes que foram executados:

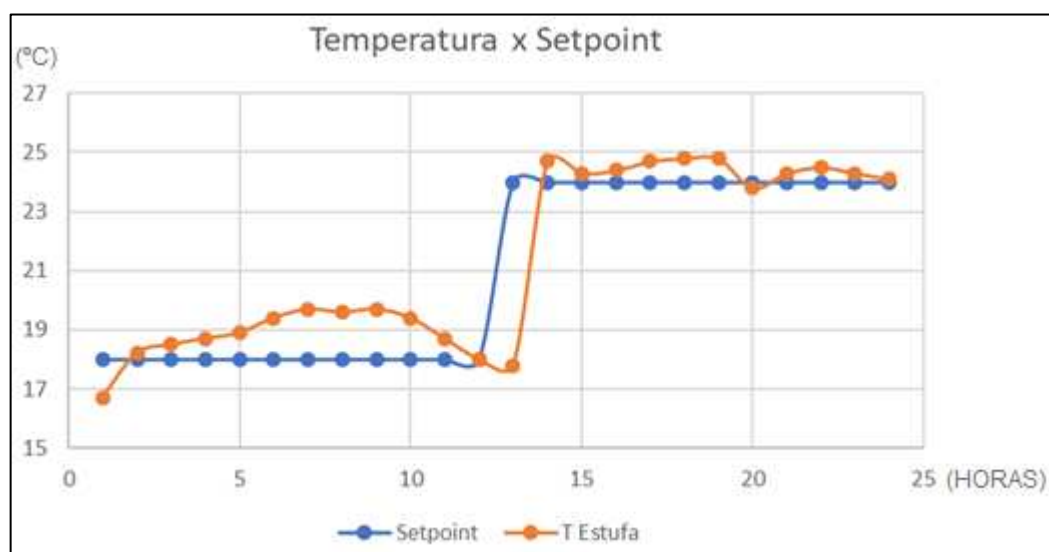
6.1 CONTROLE DE TEMPERATURA

Durante o procedimento de teste do controle de temperatura, foi observado que a estrutura da estufa não promovia um bom isolamento térmico, causando certa dificuldade em realizar um controle efetivo no parâmetro temperatura. Portanto, visando aferir a capacidade do sistema em atingir e manter um *setpoint* de temperatura, foi elaborado um *setup* para validação do sistema.

Para que fosse possível executar um teste em que, o microambiente interno promovesse menor troca de calor com o ambiente externo, foi utilizada uma caixa de papelão, com as mesmas dimensões do interior da estufa, com uma janela para a instalação do conjunto formado pelas células Peltier (dissipadores e coolers). A caixa foi totalmente lacrada e, em seu interior foi instalado um sensor de temperatura.

Com base no *setup* descrito acima, a Figura 34, apresenta a resposta em temperatura do teste realizado durante um dia (24 horas). Para o teste em questão é possível observar a resposta do sistema para dois *setpoints* distintos, de temperatura, 18 e 24 °C.

Figura 35 - Resposta temperatura ao longo do dia



Fonte: Autoria própria.

O teste teve início às 7:00 da manhã, neste momento a temperatura ambiente registrada era de aproximadamente 17 °C, a máxima temperatura ambiente registrada neste dia foi 25 °C, e a mínima 16 °C. Durante o pico de temperatura ambiente o sistema teve dificuldade em manter a temperatura de *setpoint*, durante esta condição o a diferença entre a temperatura ambiente (25 °C) e a temperatura de *setpoint* (18 °C) chegou a 7 °C.

A média de temperatura registra dentro da estufa, ao longo do dia, foi 18,8 °C para o *setpoint* de 18 °C e 23,9 para o *setpoint* de 24 °C.

6.2 CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

Para o controle de irrigação existe a necessidade de o usuário definir dos valores de parametrização do subsistema. O primeiro deles é a umidade ideal para o desenvolvimento da cultura, o outro é o limite inferior de umidade, parâmetro utilizado como gatilho para que o processo de irrigação seja realizado.

Para o teste em questão, definimos os dois parâmetros com base na umidade ideal média levando-se em conta as duas culturas. Foram estabelecidos os limites superior e inferior de umidade, 80 e 60 % respectivamente, ver Tabela 6.

Os sensores de umidades, utilizados no sistema, apresentaram variações significantes na relação umidade x tensão de *output*, porém, por se tratar de sensores de fácil aquisição e custo, forma mantidos no sistema. Após uma bateria de testes, foi possível determinar uma relação, entre a umidade do solo e o valor da tensão de saída do sensor. Na aplicação em questão adotou-se 4 pontos que serão suficientes para o controle da irrigação. Ver Tabela 7.

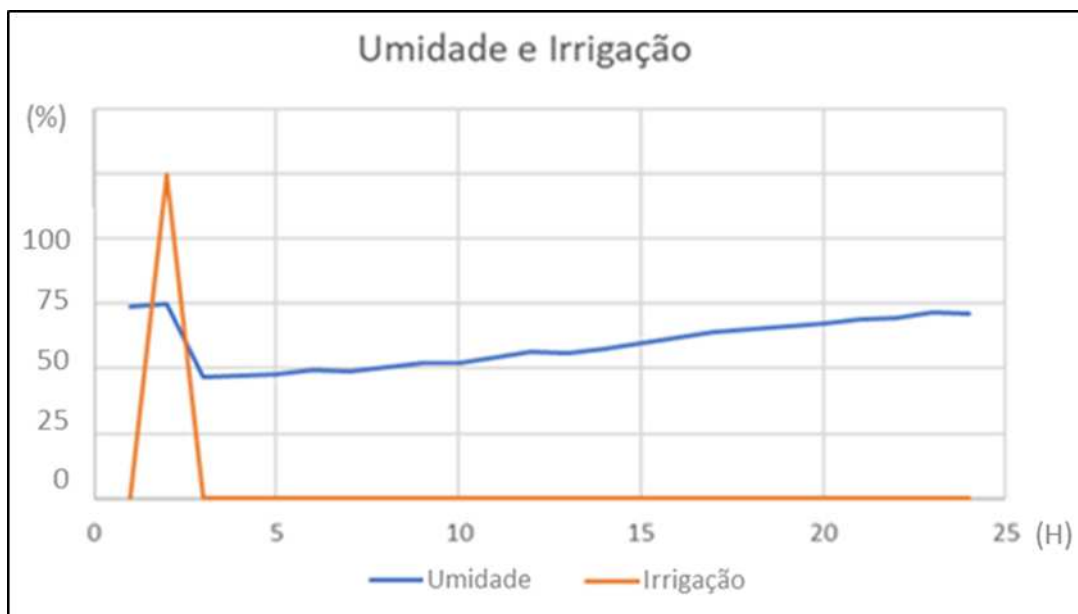
Tabela 7 - Relação umidade do solo x DC

UMIDADE SOLO	UMIDADE (%)	Output (mV)
Seco	0	5000
Muito baixa	25	3900
Baixa	50	3300
Alta	75	2450
Muito alta	90	1950
Encharcado	100	1080

Fonte: Autoria própria.

Uma vez que configurados os parâmetros, foram realizados testes para aferir o funcionamento da função. A Figura 35 apresenta um teste realizado ao longo de um dia (24 horas).

Figura 36 - Resposta do controle de irrigação ao longo do dia

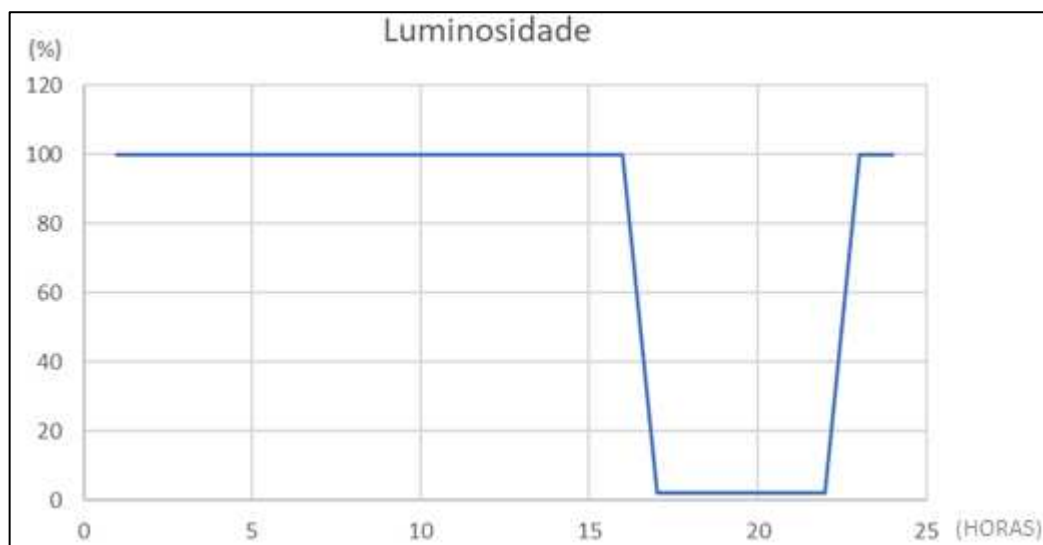


Fonte: Autoria própria.

É importante lembrar que, o ciclo de irrigação apresenta relação direta com a cultura plantada, temperatura e tipo de solo, caso um destes parâmetros seja alterado a resposta será alterada com intuito de satisfazer as condições de irrigação da cultura.

6.3 CONTROLE DE LUMINOSIDADE

Para o teste foi definido que o tempo de exposição, das plantas, à luz seria de 18 horas por dia. A Figura 36 apresenta o gráfico com os valores aferidos pelo sensor de luminosidade. O controle foi realizado apenas com relação ao tempo de exposição, porém, é possível também controlar a intensidade da iluminação, em caso de uma cultura que exija maior cuidado quanto a este parâmetro, uma vez que nesta os LEDs são acionados por PWM.

Figura 37 - Resposta exposição a luz ao longo do dia

Fonte: Autoria própria.

6.4 RESULTADOS

Com o intuito de comparar o desenvolvimento das hortaliças, optou-se em realizar o plantio das mesmas hortaliças em um ambiente externo suscetível, para os testes foram escolhidas mudas de alface e salsinha.

Quatro mudas de cada espécime foram plantadas no dia 04 de novembro de 2019, sendo que duas mudas cada foram condicionadas ao ambiente da estufa e as demais inseridas ao ambiente externo. Ainda, foi realizado o plantio com o mesmo tipo de solo para que, somente as variáveis controladas na estufa pudessem causar interferências no processo de crescimento das plantas e não houvesse a omissão dos verdadeiros resultados obtidos e, assim fosse tangível comprovar a eficácia da automatização implementada.

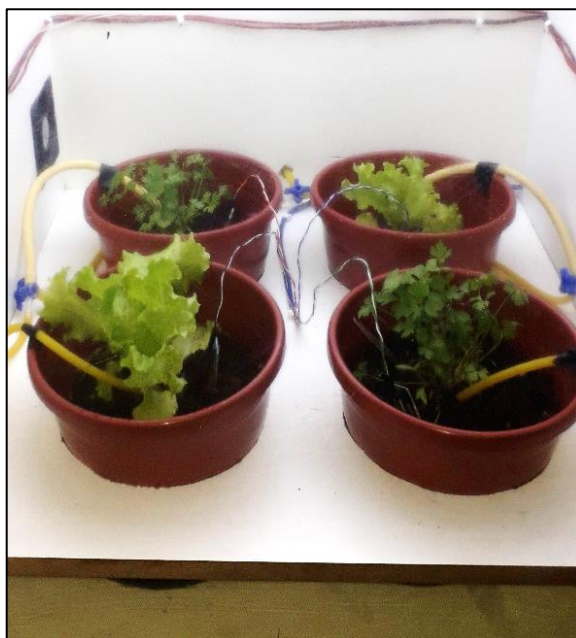
Conforme as Figuras 37 e 38, têm-se o funcionamento da estufa e o crescimento das mudas 18 dias após o plantio.

Figura 38 – Funcionamento da estufa



Fonte: Autoria própria.

Figura 39 – Mudanças de hortaliças em ambiente protegido após 18 dias de cultivo



Fonte: Autoria própria.

E o desenvolvimento das mudas após 18 dias do plantio, em ambiente externo pode ser observado através das figuras 39 e 40. Pode-se averiguar o desenvolvimento compatível das mudas em ambos os ambientes de cultivo.

Figura 40 - Mudanças de alface em ambiente externo após 18 dias de cultivo



Fonte: Autoria própria.

Figura 41 - Mudanças de salsa em ambiente externo após 18 dias de cultivo



Fonte: Autoria própria.

7. CONCLUSÃO

O aprendizado teórico e prático adquirido pela equipe, absolutamente é o maior ganho deste projeto, assim permitindo a integração dos conhecimentos de engenharia e agricultura, o que se tornou desafiador e motivador, pois a premissa inicial do projeto era a viabilidade de que pessoas sem conhecimento de cultivo de hortaliças pudessem ter sua própria horta em casa controlar remotamente.

Apesar da equipe possuir conhecimento nos *hardwares* e na programação, houve dificuldades quanto à parte mecânica da estufa, em que foram realizados diversos testes e modificações até o modelo final apresentado, sendo uma das atividades que mais demandaram tempo e estudo do grupo.

A comunicação com os sensores e atuadores tiveram resultados satisfatórios, devido ao conhecimento prévio deles, no entanto, um grande embate encontrado foi o controle de temperatura, pois a temperatura é um fator determinante na umidade do solo e na umidade do ar dentro da estufa. Após, diversas horas de testes e estudos, a solução encontrada foi emprego da pastilha de Peltier que seria utilizada tanto para o aquecimento quanto ao resfriamento da estufa em conjunto com os *coolers*. A partir dos dados dos sensores e da ação efetiva sobre os atuadores, o controle das grandezas propostas pôde ser implementado.

Além de todo o sistema de controle do ambiente, a interface se mostrou de fácil uso e intuitiva. As configurações usadas pelo usuário podem ser carregadas a qualquer momento e ao menos uma vez por dia, os dados serão armazenados a fim de ser realizado um histórico da estufa.

No âmbito financeiro, este projeto é viável, mas não é possível estabelecer um comparativo com os produtos desenvolvidos e comercializados atualmente no Brasil, pois neste projeto não é levado em consideração, o desenvolvimento de projeto, propriedade intelectual e tempo de mão de obra dispendido pela equipe para execução do projeto. Porém no Anexo B encontra-se lista a relação de custos dos materiais utilizados para a construção do projeto, levando em consideração que ferramentas para a construção (furadeira, cola, pregos, parafusos, martelo, alicate, etc), não houveram custos, além disso, todos os cabos utilizados foram doados ao grupo, logo não apresentaram custos ao projeto.

REFERÊNCIAS

- Agricultura Orgânica.** Disponível em: <<http://aao.org.br/aao/agricultura-organica.php>>. Acesso em: 05 de out. 2016.
- ANTONIO, M. **Apostila de: Programação de Microcontroladores PIC Usando Linguagem C.** CEFETES, 2006.
- Arduino Ethernet Shield v1.** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShieldV1>>. Acesso em: 07 de maio 2017.
- BECKETT, K. A. **Culturas em abrigo: Escolher equipar e trabalhar uma estufa, o cultivo das plantas em estufas e outros abrigos.** Men Martins, 1987, p. 7–9.
- BEZERRA, F. **Produção de Mudas de Hortaliças em Ambiente Protegido.** Fortaleza, Embrapa, 2003.
- BRANDÃO FILHO, J.U.T.; CALLEGARI, O. **Cultivo de hortaliças de frutos em solo em ambiente protegido.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.64-68, set./dez. 1999.
- CERMEÑO, Z. Serrano. **Construcción de Invernaderos.** Madrid: Grupo Mundi-Prensa, 2005.
- CERMEÑO, Z. S. **Estufas instalação e manejo.** Lisboa: Litexa. 1990. 355p.
- Crescimento e desenvolvimento da alface (lactuca sativa L.) conduzida em estufa plástica com fertirrigação em substratos.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v31n2/a02v31n2>>
- Cytron Technologies. **Moisture Sensor Module SN-MOISTURE-MOD Getting Start Guide v1.0.** 2014.
- Efeito Pastilha de Peltier.** Disponível em: <https://www.refrigeracao.net/Topicos/refrigeracao_eletronica.htm>

Electro Schematics. **AM2302 / DHT22 Datasheet**. Disponível em: <<http://www.electroschematics.com/11293/am2302-dht22-datasheet/>>. Acesso em: 07 de maio 2017.

Eletrobomba. Disponível em: <<https://www.gerha.com.br/eletrobomba-gasolina-partida-a-frio-1-saida-12v-drift-dk806>>

Estufas. Disponível em: <<http://www.vegaeflora.com.br>> Acesso em: 05 de outubro de 2016.

Estufas. Disponível em: <<https://www.cultivoindoor.com.br/estufas/>>. Acesso em: 05 de outubro de 2016.

GUEDES, Í. M. R. **A agricultura brasileira precisa de uma revolução branca**. Disponível em: <<http://scienceblogs.com.br/geofagos/2015/07/a-agricultura-brasileira-precisa-de-uma-revolucao-branca/>>. Acesso em: 05 de junho de 2017.

GUEDES, Í. M. R. **Papel da pesquisa científica na produção de hortaliças no Brasil**. Disponível em: <<http://scienceblogs.com.br/geofagos/2015/08/papel-da-pesquisa-cientifica-na-producao-de-hortalicas-no-brasil/>>. Acesso em: 05 de junho de 2017.

HOPKINS, W. G. **Photosynthesis and Respiration**. [s.l.] Infobase Publishing, 2006.

JENSEN, M. H.; MALTER, A. J. **Protected Agriculture: A Global Review**. [s.l.] World Bank Publications, 1995.

JUNIOR, A. L. A. **Sistema de monitoramento e climatização de estufa de pequeno porte em um contexto doméstico**, 2016.

Legislação - Resolução - CNNPA nº 12, de 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_hortalicas.htm> Acesso em: 07 de junho 2017.

LI, X.; DENG, Y.; DING, L. Study on precision agriculture monitoring framework based on WSN. **2nd International Conference on Anti-counterfeiting, Security and Identification, ASID 2008**, p. 182–185, 2008.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Armazenamento de Hortalças**. [s.l.] Embrapa, 2001.

Mercado de orgânicos cresce o dobro no Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/mercado-de-organicos-cresce-o-dobro-no-brasil-8df80rvio9qwfoddvum846sdb>>. Acesso em: 05 de out. 2016.

Módulo Bluetooth. Disponível em: <<https://www.robocore.net/loja/wireless/modulo-bluetooth-hc-05>>

MCRBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo, Novatec, 2014.

NIWA ONE. Disponível em: <<https://getniwa.com/niwaone.html>>. Acesso em: 04 de maio 2017.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de controle moderno - 5. ed.** - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

Pastilha de Peltier. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/pastilha-termoeletrica-peltier-tec1-12706-cooler/>>

Pastilha de Peltier. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>>

PINHEIRO, C. **Produção em Ambiente Protegido em São Paulo**: Atuação da Secretaria de Agricultura Favoreceu a Expansão. CASA DA AGRICULTURA: Produção em Ambiente Protegido. Campinas, São Paulo, nº 2, p.40-40, abr./mai./jun. 2011.

Plantário Manual do usuário. 2014, p. 4–9.

Plantário. Disponível em: <<https://www.plantario.com.br/products/plantario>>. Acesso em: 04 de maio 2017.

Plantui 6 Smart Garden. Disponível em: <<http://plantui.com/smart-gardens/plantui-6/>>. Acesso em: 07 de maio 2017.

Plantário Estufa para Interiores. Disponível em: <<https://www.plantei.com.br/>> Acesso em: 06 de outubro de 2016.

PURQUERIO, L. F. V.; GOTO, R.; DEMANT, L. A. R. Produção de rúcula cultivada com diferentes doses de nitrogênio em cobertura via fertirrigação e espaçamento entre plantas em campo e ambiente protegido no inverno. In: Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura, 45. **Horticultura Brasileira**, v.23, agosto, 2005. Suplemento CD-ROM.

PURQUERIO, L.F.V.; GOTO, R. Doses de nitrogênio em cobertura via fertirrigação e espaçamento entre plantas sobre a cultura da rúcula, em campo e ambiente protegido. In: Anais do Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas, 5. Congresso Iberoamericano de Ciências Hortícolas, 4. Porto: **Actas Portuguesas de Horticultura**, n.5, v.1, maio, 2005.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. **Instituto Agrônomo de Campinas IAC, Centro de Horticultura. Campinas, SP**, 2006.

ROSA, E. D. O. **Benefícios à saúde impulsionam agricultura orgânica**. Visão agrícola. Nº.7 p. 1–2, 2007.

SALVADOR, C. A. Análise Da Conjuntura Agropecuária Safra 2011/12 Agricultura Orgânica. **Secretaria Da Agricultura E Do Abastecimento, Departamento De Economia Rural.**, p. 1–8, 2009.

SANTOS, A. B.; BARRETO, R. G.. **Projeto e desenvolvimento de uma estufa automatizada para plantas**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Sensor de Luminosidade LDR. Disponível em:

<<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-luz-ldr/>>

Sensor de Nível de Água. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-352407-sensor-de-nivel-de-agua.html>>. Acesso em: 10 de maio 2017.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. 6. ed. Guaíba: Agropecuária, 1997.p. 342.

SOLER & PALAU, S.A.. **A climatização de estufas**, 2006. Disponível em: <http://www.solerpalau.pt/formacion_01_39.html> Acesso em: 07 de junho de 2017.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo, Editora Érica, 2005.

Umidade Relativa do Ar, 2017. Disponível em: <<http://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>>. Acesso em: 07 de junho de 2017.

VEIGA, M. M.; SILVA, D. M.; VEIGA, L. B. E.; FARIA, M. V. C. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Caderno de Saúde Pública**.vol.22 n°.11 Rio de Janeiro, p. 2391-2399, 2006.

APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO

```

/* -----
  Universidade Tecnológica do Paraná
  Trabalho de Conclusão de Curso

  Projeto e Desenvolvimento de Estufa Doméstica
  Automatizada de Baixo Custo Empregando o Uso e
  Microcontrolador

  Alunos:      Daniele de Oliveira
               Marlon Rodrigues Sousa da Mata

----- */

#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// SENSORES
#define sensor_umidade_1 A0      // Sensor umidade solo 1  irrigação
#define sensor_umidade_2 A1      // Sensor umidade solo 2  irrigação
#define sensor_umidade_3 A2      // Sensor umidade solo 3  irrigação
#define sensor_umidade_4 A3      // Sensor umidade solo 4  irrigação
#define DHTPIN 2                 // Sensor temperatura 1  temperatura
#define DHTPIN2 3                // Sensor temperatura 2  temperatura
#define sensor_ldr A4            // Sensor luminosidade  iluminação
#define sensor_nivel 8           // Sensor nível água    irrigação

// ATUADORES
#define pwm_cooler_vt 4          // Cooler ventilação    temperatura
#define pwm_cooler_ex 5         // Cooler exaustão      temperatura

```



```

#define pwm_bomba 6           // Bomba de água           irrigação
#define pwm_luz 7            // LEDs                iluminação

// Inicialização lib DHT22
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);

// PERMITE FUNÇÃO SERIAL EM OUTROS PINOS
SoftwareSerial BT(10, 11); // RX, TX

// Variáveis RELÓGIO
unsigned long tempo_ms = 0;
unsigned long lst_tempo_ms = 0;
int tempo_s = 0;
int tempo_m = 0;
int tempo_h = 0;

// Variáveis controlador temperatura
unsigned long time;
long int Kp = 1000, Ki = 200, Kd = 0;
//long int Kp=1000,Ki=0,Kd=200;
long int i = 0;
long int de = 0;
long int old_ek;
long int N = 1;
const int T_ms = 30;
long int tempo = 0;
long int p;
long int val;
long int aux;
int TempMS = 600; //setpoint de temperatura corrente em décimos de grau
int t = 0; //Temperatura do processo em miligraus

```

```

int ad = 0; //valor lido do AD
int cycle = 0;
float setpoint = 22.0;
float ek = setpoint - t;

//Variáveis para a função millis
long hour = (60 * 60 * 1000L);
int eepromInterval = (hour * 24);
int turnOnLightsInterval = (hour * 6);
int turnOffLightsInterval = (hour * 18);
int irrigateInterval = (hour * 12);

bool lightsOn = true;
bool irrigateOn = false;

int badSoilMoisture = 30;
int goodSoilMoisture = 80;

// Tracks the time since last event fired
unsigned long eepromPreviousMillis = 0;
unsigned long lightsOnPreviousMillis = 0;
unsigned long lightsOffPreviousMillis = 0;
unsigned long irrigatePreviousMillis = 0;

char PID_control(long int t, long int setpoint) {

    p = Kp * ek;
    i = i + (Ki * T_ms * ek + Ki * T_ms * old_ek) / 1000;
    de = ((2 * -N * (T_ms / 1000)) * de + 2 * Kd * N * ek - 2 * Kd * N * old_ek) / (2 + N *
(T_ms / 1000));
    old_ek = ek;

    if (cycle >= 255)

```

```
    val = p + de;
else
    val = p + i + de;

val = (val * 255) / 5400; //supondo setpoint máximo = 18 °C
//supondo Kp, Ki e Kd = 100
//3*100*18 = 4500
if (val > 255)
    val = 255;
else if (val < 0)
    val = 0;
return (val);
}

void cronometro() {
    long currentMillis = millis();
    long minute = (1000 * 60L);

    long h = currentMillis / hour;
    long restH = currentMillis % hour;

    long m = restH / minute;
    long restM = restH % minute;

    long s = restM / 1000L;

    Serial.print(h);
    Serial.print(":");
    Serial.print(m);
    Serial.print(":");
    Serial.println(s);
}
```

```

float getAirHumidity(){

    float h1 = dht.readHumidity();
    float t1 = dht.readTemperature();
    float h2 = dht2.readHumidity();
    float t2 = dht2.readTemperature();
    float h;
    float t;

    h = ((h1 + h2) / 2);
    t = ((t1 + t2) / 2);

    Serial.print("Temp: ");
    Serial.print(t);
    Serial.print(" °C | ");

    Serial.print("Umid: ");
    Serial.print(h);
    Serial.println("%");

    return t;
}

void controllLights(unsigned long currentMillis) {
    // Se as luzes estiverem desligadas e se passaram 6 horas
    if (!lightsOn && (unsigned long)(currentMillis - lightsOffPreviousMillis) >=
turnOnLightsInterval) {
        analogWrite(pwm_luz, 255);
        lightsOn = true;
        lightsOnPreviousMillis = currentMillis;
    }

    // Se as luzes estiverem ligadas e se passaram 18 horas

```

```

    if (lightsOn && (unsigned long)(currentMillis - lightsOnPreviousMillis) >=
turnOffLightsInterval) {
        analogWrite(pwm_luz, 0);
        lightsOn = false;
        lightsOffPreviousMillis = currentMillis;
    }
}

```

```

void controllIrrigation(unsigned long currentMillis, float umidade) {
    // Se a umidade estiver baixa e se passaram 12 horas
    if (!irrigateOn && umidade<=badSoilMoisture && (unsigned long)(currentMillis -
irrigatePreviousMillis) >= irrigateInterval) {
        analogWrite(pwm_bomba, 20);
        irrigateOn = true;
        irrigatePreviousMillis = currentMillis;
    }

    if (irrigateOn && umidade>=goodSoilMoisture) {
        analogWrite(pwm_bomba, 0);
        irrigateOn = false;
    }
}

```

```

void saveOnEeprom(unsigned long currentMillis) {
    // Eeprom
    if ((unsigned long)(currentMillis - eepromPreviousMillis) >= eepromInterval) {
        // TODO código para gravar no eeprom

        eepromPreviousMillis = currentMillis;
    }
}

```

```

void controlScheduledTasks(unsigned long currentMillis, float umidade) {

```

```
controlLights(currentMillis);
controllrrigation(currentMillis, umidade);
saveOnEeprom(currentMillis);
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  BT.begin(9600);
  pinMode(sensor_umidade_1, INPUT);
  pinMode(sensor_umidade_2, INPUT);
  pinMode(sensor_umidade_3, INPUT);
  pinMode(sensor_umidade_4, INPUT);
  pinMode(sensor_nivel, INPUT);
  pinMode(pwm_cooler_vt, OUTPUT);
  pinMode(pwm_cooler_ex, OUTPUT);
  pinMode(pwm_bomba, OUTPUT);
  pinMode(pwm_luz, OUTPUT);
  dht.begin();
  dht2.begin();
}

float getSoilHumidity() {
  //LEITURA SENSORES

  float u1, u2, u3, u4;

  u1 = (1023 / (analogRead(sensor_umidade_1) * 100));
  u2 = (1023 / (analogRead(sensor_umidade_2) * 100));
  u3 = (1023 / (analogRead(sensor_umidade_3) * 100));
  u4 = (1023 / (analogRead(sensor_umidade_4) * 100));

  Serial.print("Umidade solo | 1: ");
  Serial.print(u1);
```

```
Serial.print("% ");
Serial.print("| 2: ");
Serial.print(u2);
Serial.print("% ");
Serial.print("| 3: ");
Serial.print(u3);
Serial.print("% ");
Serial.print("| 4: ");
Serial.print(u4);
Serial.println("% |");

return (u1+u2+u3+u4)/4;
}

void loop() {

  cronometro();

  float umidade = getSoilHumidity();
  float t = getAirHumidity();

  int leitura = analogRead(sensor_ldr);

  Serial.print("LDR: ");
  Serial.println(leitura);

  if (tempo >= 60000) {
    TempMS = 900;
  }

  if (tempo >= 110000) {
    TempMS = 400;
```

```
}

if (tempo >= 260000) {
  TempMS = 550;
}

cycle = (255 - PID_control(t, TempMS));

ek = setpoint - t;

if (ek > 0.3) {
  analogWrite(pwm_cooler_vt, cycle); //analogWrite values from 0 to 255
} else if (ek < -0.3) {
  analogWrite(pwm_cooler_ex, cycle); //analogWrite values from 0 to 255
} else {
  analogWrite(pwm_cooler_vt, 0);
  analogWrite(pwm_cooler_ex, 0);
}

tempo += T_ms;
delay(T_ms);

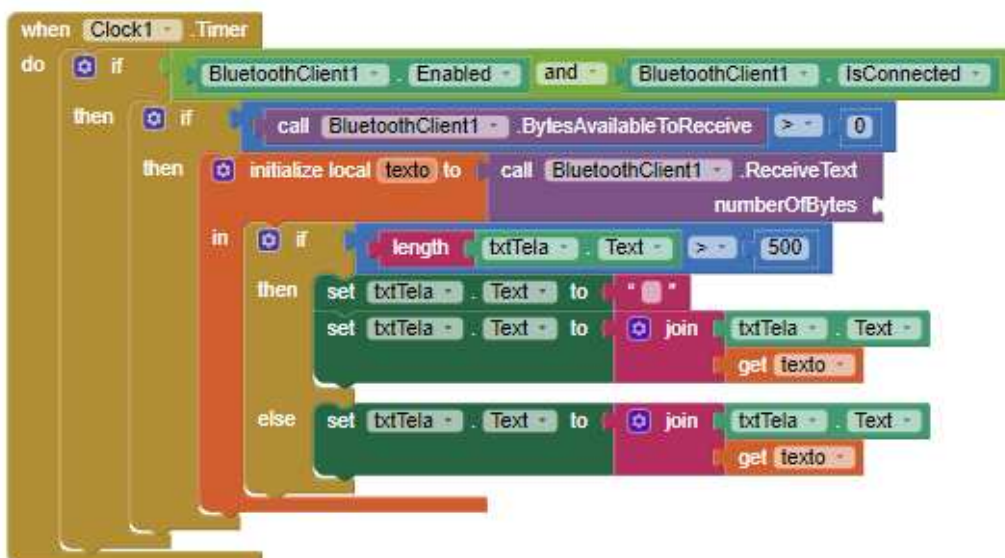
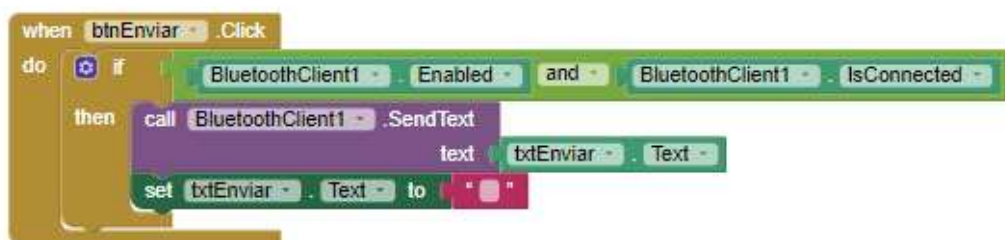
Serial.println("-----");

// Get snapshot of time
unsigned long currentMillis = millis();
// Scheduled tasks
controlScheduledTasks(currentMillis, umidade);

delay(1000);
}
```


APÊNDICE B – CÓDIGO APP ANDROID (MIT APP INVENTOR)

```
initialize global Received_data to " 0.0 "  
  
when ListPicker1 - BeforePicking  
do set ListPicker1 - Elements to BluetoothClient1 - AddressesAndNames  
  
when ListPicker1 - AfterPicking  
do set ListPicker1 - Selection to call BluetoothClient1 - Connect  
address ListPicker1 - Selection  
  
when Button1 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " a "  
  
when Button2 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " c "  
  
when Button3 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " b "  
  
when Button4 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " d "  
  
when Button5 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " e "  
  
when Button6 - Click  
do call BluetoothClient1 - SendText  
text " f "
```



ANEXO A – CULTIVO DE HORTALIÇAS EM ESTUFAS

Hortaliça é a planta herbácea da qual uma ou mais partes são utilizadas como alimento na sua forma natural (ANVISA, 1978). Luengo (2001) ressalta os benefícios do consumo de hortaliças, como: alto teor de fibras, vitaminas e sais minerais, além de serem alimentos leves.

Segundo Guedes (2015) o Brasil presencia uma expansão na produção de hortaliças sob ambiente protegido devido ao aumento de renda dos consumidores, à urbanização da população brasileira e a preocupação com o alimento seguro, além da redução do uso de pesticidas químicos e com o aumento na eficiência no uso de água e fertilizantes.

Outro fator que influencia a intensificação da busca por soluções em cultivo protegido são as mudanças climáticas globais, pois além de afetar a produção afetam também a qualidade da produção de hortaliças. Os ambientes protegidos permitem o aumento da eficiência na produção, devido à criação de um microclima favorável desde os estágios iniciais do desenvolvimento das mudas influenciando diretamente no controle da água, dos insumos, fertilizantes e da luminosidade. As orquídeas, por exemplo, necessitam de condições apropriadas para seu crescimento e alguns fatores, como a quantidade de água, a luminosidade, a temperatura, umidade do ar e ventilação, determinam o sucesso de sua produção (PLOUGHMAN, 2007).

De acordo com Bezerra (2003), o desenvolvimento de hortaliças em ambientes protegidos possui diversas vantagens, sendo elas:

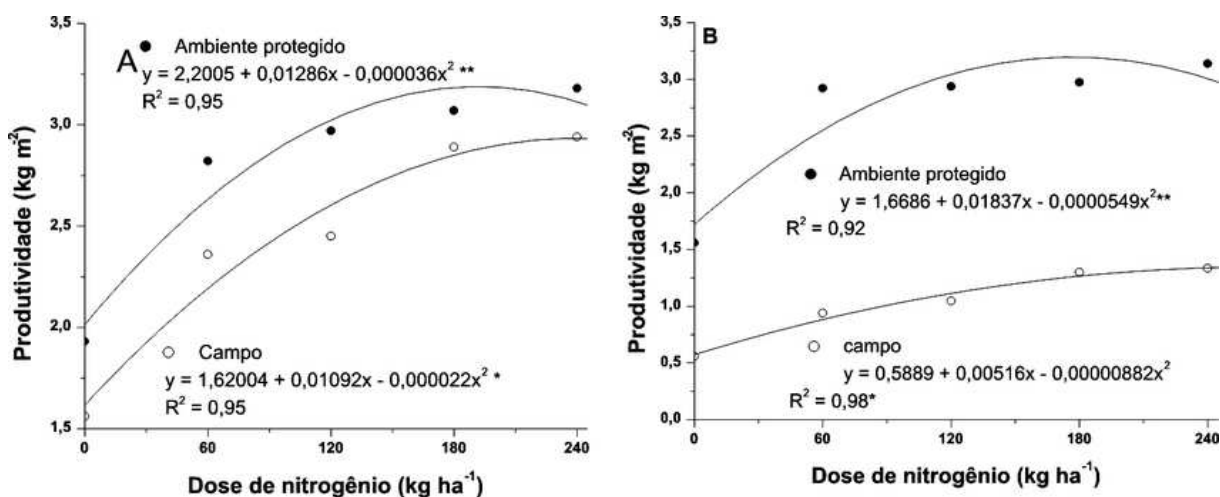
- Redução do ciclo de cultura;
- Redução da possibilidade pragas biológicas;
- Redução de fertilizantes e defensivos;
- Aumento da relação percentual entre sementes plantadas e mudas obtidas;
- Melhor aproveitamento da área destinada à produção de mudas;
- Maior facilidade no manejo da cultura;
- Melhor aproveitamento dos recursos de produção;

Esses ganhos demonstram a importância da produção de hortaliças em ambientes protegido. Segundo Cermeño (1990) a produtividade pode ser de 2 a 3

vezes maior que as observadas no campo e com qualidade superior, permitindo o plantio em épocas que normalmente não seriam escolhidas para a produção ao ar livre.

Através da Figura 41, pode ser analisado um estudo realizado em diferentes estações do cultivo de rúcula no ambiente protegido e no campo.

Figura 42 - Produtividade de rúcula, cv. Folha Larga, cultivada em campo e ambiente protegido no inverno (A) e no verão (B), em função de doses de nitrogênio, na colheita.



Fonte: (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

Durante o inverno, são favoráveis as condições climáticas para este tipo cultura, podendo ser dispensado o cultivo protegido, mas ainda assim houve melhor rendimento das plantas cultivadas no ambiente protegido em relação às cultivadas em campo. Os altos níveis de chuvas no verão durante o ciclo da cultura são prejudiciais à cultura cultivadas no campo, podendo ser verificada a maior produtividade no ambiente protegido.

A maioria dessas estruturas são concebidas de telas plásticas, possibilitando o resguardo do frio, da chuva e de ventos fortes, criando assim condições favoráveis para seu desenvolvimento inicial. Porém, essas estruturas não realizam o controle de fatores climáticos, como a variação de temperatura ou a luminosidade necessária ao longo do processo de desenvolvimento das plantas (JENSEN; MALTER, 1995).

No Brasil, o uso de estufas começou a ser disseminado quando empresas privadas e órgãos vinculados à pesquisa do ramo agrícola implementaram experiências em torno de 1970 (PINHEIRO, 2011).

O ambiente em estufa, proporciona o controle e monitoramento dos fatores que influenciam o crescimento das plantas, e Bezerra (2003) define estufas como

“estruturas onde se pode criar e/ou manter microclimas favoráveis ao cultivo de qualquer espécie de planta, independente das condições ambientais existentes”.

Entretanto, Guedes (2015) ressalta as dificuldades de implementação deste método de cultivo em larga escala no Brasil, devido ao alto custo dos materiais e dos recursos elétricos para o controle de temperatura e luminosidade, do desenvolvimento tecnológico limitado e desigualdade dos preços oferecidos ao longo do país.

ANEXO B – CUSTOS DE MATERIAIS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO

Tabela 8 - Custos na elaboração do projeto

MATERIAL	QUANTIDADE	MEDIDA	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR PAGO (R\$)
Arduino MEGA2560	1,00	UN	40,00	40,00
Sensor de temperatura e umidade do ar DHT22	2,00	UN	15,96	31,92
Sensor de umidade do solo higrômetro	4,00	UN	10,90	43,60
Eletrobomba de água	1,00	UN	17,10	17,10
Vasos	4,00	UN	2,99	11,96
Pratos vasos	4,00	UN	1,99	7,96
Velcro preto	2,50	M	4,20	10,50
Plástico	0,50	M	12,80	6,40
Lona	1,00	M	3,00	3,00
MDF Branco 15 mm	1,77	M ²	57,67	102,08
Fita de LED 5m - 24 W	1,00	UN	9,00	9,00
Módulo LDR	1,00	UN	10,90	10,90
Sensor de nível	1,00	UN	12,00	12,00
Placailhada e perfurada 5 cm x 10 cm	1,00	UN	6,00	6,00
Estanho	1,00	UN	5,00	5,00
Cooler 12 V	3,00	UN	13,00	39,00
Tubo cola quente	3,00	UN	0,50	1,50
Torneiras irrigação	3,00	UN	0,81	2,43
Mangueira	2,00	M	2,00	4,00
Pacote com 60 Jumpers	1,00	UN	14,00	14,00
Transistor IRF 540	4,00	UN	2,70	10,80
Borne multipolar	2,00	UN	2,20	4,40
Conjunto 10 Resistores 1 kΩ / 1/4 W	1,00	UN	1,50	1,50

Conjunto 10 Resistores 10 kΩ / 1/4 W	1,00	UN	1,50	1,50
Barra 40 pinos macho 180 graus	1,00	UN	1,50	1,50
Barra 40 pinos fêmea 180 graus	1,00	UN	1,80	1,80
Módulo bluetooth	1,00	UN	36,90	36,90
Plug P4 fêmea	1,00	UN	1,20	1,20
Plug P2 fêmea	1,00	UN	1,50	1,50
Plug P4 macho	1,00	UN	1,50	1,50
Conector de emenda 5 vias	2,00	UN	3,30	6,60
Conector de emenda 3 vias	1,00	UN	2,00	2,00
Reservatório de água	1,00	UN	14,90	14,90
Fonte de tensão 200 W	1,00	UN	44,00	44,00
Pastilha de Peltier	1,00	UN	10,90	10,90
Dissipador	2,00	UN	20,00	40,00
Módulo com 4 relés para arduino	1,00	UN	24,90	24,90
			TOTAL (R\$):	584,25

Fonte: Autoria Própria.